Postverlagsort Düsseldorf

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS E. BEDERKE H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

ORGAN DER MAX PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

35. JAHRGANG HEFT 1 (1—32) 1948

INHALT:

Max Planck. Von M. v. Laue 1

Die geochemische Bilanz. Von C. W. Correns . 7

Gelöste und ungelöste Rätsel der Bienensprache. Von K. v. Frisch 12

Berichte.

Neue Ergebnisse der Selbststerilitätsforschung. Von J. Straub 23

Kurze Originalmitteilungen.

Über die Beseitigung der inkohärenten Streuung in elektronen-mikroskopischen Abbildungen und Elektronenbeugungs-Diagrammen durch Elektronenfilter. Von H. Boersch 26

Über den Einfluß der Gestalt organischer Moleküle und ihrer Lagerung im Kristall auf ihre Befähigung zu orientierter Abscheidung (Partiell isomorphe Systeme IX). Von A. Neuhaus . . . 27

Zur Theorie der photosensibilisierten Reaktion mit molekularem Sauerstoff. Von G. O. Schenck . 28

Die „Retentionsanalyse", eine quantitative Ultramikromethode. Von Th. Wieland und E. Fischer 29

Über Elektrophorese auf Filtrierpapier. Von Th. Wieland und E. Fischer 29

Zur Frage des Determinationszustandes von Regenerationsblastemen. Von W. Luther 30

Besprechungen.

K. H. Bauer, Vom neuen Geist der Universität. (Ref.: H. Brockmann) 31

W. Simon, Zeitmarken der Erde. (Ref.: M. Schwarzbach) 31

Chester, K. Starr, The Nature and Prevention of Cereal Rusts as exemplified in the Leaf Rust of Wheat. (Ref.: Gassner) 32

Ausgegeben im September 1948.

Soeben gelangte zur Ausgabe:

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Redigiert in Gemeinschaft mit **F. Hund**

von **Ferdinand Trendelenburg**

Einundzwanzigster Band: Mit 188 Abbildungen. III, 361 Seiten. 1945. 48.— Mark.

Inhaltsverzeichnis: Neuere Fortschritte der Theorie des inneren Aufbaues und der Entwicklung der Sterne. Von *L. Biermann.* - Elektrische Leitfähigkeit der Metalle bei tiefen Temperaturen. Von *E. Grüneisen.* - Supraleitfähigkeit. Von *E. Justi* und *K. H. Koch.* - Anregungsstufen der leichten Atomkerne. Von *H. Volz.* - Die elektronenmikroskopische Untersuchung von Oberflächen. Von *H. Mahl.* - Die Messung mechanischer und akustischer Widerstände. Von *K. Schuster.*

SPRINGER-VERLAG BERLIN GÖTTINGEN HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen 24.— Mark, für das einzelne Heft 2.50 Mark zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden vom Springer-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Jebensstraße 1, angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin-Charlottenburg 2 Jebensstraße 1 — **Göttingen** Weender Straße 60

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichungen zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „K.O.M." („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne K.O.M. nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des 33. Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Bürgerstraße 50.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Bei photographischen Abbildungen (Autotypien) kann das Druckergebnis auf dem heute zur Verfügung stehenden Papier nur in seltenen Fällen wirklich befriedigen. Es ist deshalb ratsam, Autotypien nach Möglichkeit zu vermeiden. In vielen Fällen läßt sich das Wesentliche durch eine Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

STUDIUM GENERALE

ZEITSCHRIFT FÜR DIE EINHEIT DER WISSENSCHAFTEN IM ZUSAMMENHANG IHRER BEGRIFFSBILDUNGEN UND FORSCHUNGSMETHODEN

Herausgegeben von

K. H. BAUER · L. CURTIUS · F. ERNST · W. EUCKEN · E. HOFFMANN · E. v. HOLST · K. JASPERS
FR. OEHLKERS · H. PETERS · K. REIDEMEISTER · F. H. REIN · W. RÖPKE · R. SMEND
TH. STEINBÜCHEL · H. THIELICKE · J. TRIER · C. TROLL · A. WEBER · C. F. v. WEIZSÄCKER

Schriftleitung:
M. THIEL

Die Zeitschrift erscheint etwa monatlich in einzeln berechneten Heften.

I. Jahrgang, Heft 3/April 1948. 64 Seiten. 4.80 Mark

Inhaltsverzeichnis:

Analogien und Modelle in der Physik. *Von R. Seeliger.* - Über physikalisch-chemische Modelle von Lebensvorgängen. *Von K. F. Bonhoeffer.* - Über den Gebrauch von Raumbildern in der Psychologie, insbesondere über Wesen und Erkenntniswert der psychologischen Schichttheorien. Eine methodologische Untersuchung. *Von R. Thiele.* - Wandlungen in den Vorstellungen über den Feinbau des Nervensystems. *Von R. Bachmann.* - Altbesiedeltes und jungbesiedeltes Land. *Von R. Gradmann.* - Urteilsfähigkeit und Weltkenntnis. (Alte und neue Wege des deutschen akademischen Studiums). *Von H. Wenke.* - Bericht der Universität Tübingen. *Von O. Herding.*

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

35. Jahrgang Heft 1*) 1948

Max Planck.

Von M. v. Laue[1]).

Euer Magnificenz, meine Damen und Herren!

Daß mich die Universität Tübingen eingeladen hat, einen Überblick über Leben und Wirken meines jüngst verstorbenen hochverehrten Lehrers Max Planck zu geben, ist mir eine hohe Ehre. Planck stand im 90. Lebensjahre und zählte nicht mehr zu den aktiven Forschern, und doch haben wir alle viel an ihm verloren: seine Schüler die lebende Erinnerung an schöne, erhebende Studienzeiten, die Gesamtheit der deutschen Physiker ein Vorbild, zu dem sie mit Vertrauen und Verehrung aufblicken konnten wie einstmals der junge Planck und seine Generation zu Helmholtz, einem der Größten der ganzen damaligen wissenschaftlichen Welt. So sind denn auch viele Trauerkundgebungen erfolgt, auch im Auslande, trotz der ungünstigen Zeitverhältnisse. Und doch ist das Gefühl der Trauer gemildert. Goethe legt einem Sohn des alten Nestor, „der drei Menschenalter sah", die Worte in den Mund:

„Stirbt mein Vater dereinst, der graue, reisige Nestor,
Wer beklagt ihn alsdann? Und selbst vom Auge des Sohnes
Wälzet die Träne sich kaum, die gelinde, völlig vollendet
Liegt der ruhende Greis, der Sterblichen herrliches Muster."

So lag auch Max Planck am 4. Oktober 1947 auf dem Totenbett. Wir aber wollen uns das Leben vor Augen halten, welches zu dieser Vollendung führte.

Plancks Familie stammt aus dem Schwabenlande. Sein Urgroßvater, der Theologieprofessor Gottlieb Jakob Planck, ging 1874 von Stuttgart nach Göttingen und begründete den Göttinger Zweig der Familie, welcher dem deutschen Volke eine Reihe führender Juristen schenkte. Gottlieb Planck, ein Onkel Max Plancks, war einer der Väter des Bürgerlichen Gesetzbuchs. Von Wilhelm Johann Planck, der in Kiel das Zivilprozeßrecht lehrte, stammt als sechstes Kind Max Planck ab. Am 23. April 1858 geboren, konnte er sich noch im hohen Alter erinnern, wie er 1864 preußische und österreichische Truppen in seine Heimatstadt einrücken sah. Dann aber wurde der Vater bald nach München berufen; dort am Maximilians-Gymnasium erhielt Max Planck seine Schulausbildung. Mit 17 Jahren bestand er die Reifeprüfung und entschied sich nach einigem Schwanken, ob er Altphilologe oder gar Berufsmusiker werden solle, schließlich für die Physik — trotz der Warnung des damaligen Vertreters der Physik an der Universität München, Philipp v. Jolly, daß diese Wissenschaft abgeschlossen sei und keine wesentlichen neuen Ergebnisse mehr erwarten lasse. Planck studierte dann von 1875 bis 1877 in München, natürlich auch Mathematik; für theoretische Physik gab es dort damals keinen Lehrstuhl. Es folgten einige Semester an der Universität Berlin. Dort gab es zwar theoretisch-physikalische Vorlesungen, noch dazu von so bedeutenden Männern wie Gustav Kirchhoff und Hermann v. Helmholtz; und doch erhielt Planck von keinem dieser beiden tiefergehende Anregung. Kirchhoff hatte sein Kolleg zu gut vorbereitet und sozusagen in die einzig mögliche, vollendete Form gebracht. Helmholtz las im Gegenteil ohne rechte Vorbereitung, ja ohne innere Anteilnahme. Trotzdem fallen in diese Zeit die für Plancks Entwicklung entscheidenden Anregungen: sie kamen aus den Schriften von Rudolf Clausius über mechanische Wärmetheorie, wie man damals die Thermodynamik nannte. Daran knüpft Plancks Dissertation an, die er völlig selbständig schrieb und im Sommer 1879 bei der Münchener philosophischen Fakultät einreichte; sie erschien in München unter dem Titel „Über den zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie". Die mündliche Prüfung fand am 28. Juni 1879 statt; sie bereitete ihm keine Schwierigkeiten; doch wirkte die Art, wie der prüfende Chemiker Adolf v. Baeyer seine Meinung über die Überflüssigkeit der theoretischen Physik durchblicken ließ, auf den jugendlichen Doktoranden wie ein kalter Wasserstrahl. Aber er blieb bei seinem Fach und habilitierte sich schon ein Jahr darauf mit einer Schrift „Gleichgewichtszustände isotroper Körper" an der Universität München. Mit 22 Jahren konnte er so seine Vorlesungstätigkeit beginnen; daß ein gutes Geschick ihn vor dem Militärdienst bewahrt hatte, trug zu diesem frühen Abschluß seiner Lehrjahre bei.

Fünf Jahre darauf, 1885, kam er als außerordentlicher Professor der theoretischen Physik in Nachfolge von Heinrich Hertz an die Universität Kiel, 1889 in gleicher Eigenschaft auf den durch Kirchhoffs Tod verwaisten Lehrstuhl an der Universität Berlin; 1893 wurde er dort Ordinarius, 1894 Mitglied der Preußischen Akademie. Aber dieser rasche Aufstieg entsprang weniger einer allgemeinen Anerkennung seiner Arbeiten als seinem angeborenen Lehrtalent, der Tatsache, daß es damals nur wenig theoretische Physiker gab, und nicht zuletzt der Förderung durch Helmholtz, der mit genialem Scharfblick in diesem jungen Physiker die zukünftige Größe erkannt zu haben scheint. Denn Plancks Arbeiten fanden damals wenig Beachtung, und Planck litt darunter. Seine Dissertation hatte wohl niemand, auch Helmholtz nicht, gelesen; Kirchhoff lehnte die Art, wie Planck den Entropiebegriff anwandte, ausdrücklich ab. Mit Clausius in Kontakt zu kommen, mißlang trotz mehrerer Versuche, und so ging es auch mit anderen damaligen Größen in Physik und Chemie. Den verhältnismäßig größten Erfolg hatte noch Plancks Bearbeitung der Göttinger Preisaufgabe „Über das Prinzip der Erhaltung der Energie", welche 1887 herauskam. Die Göttinger philosophische Fakultät erkannte ihr den zweiten Preis zu, während sie den ersten überhaupt nicht verteilte. Aber gerade diese Schrift kennzeichnet Plancks Eigenart weniger, als die anderen aus derselben Zeit. Dieser Mangel an Verständnis zog sich bis 1900 hin, ja noch darüber hinaus.

Die Gründe dafür lassen sich unschwer angeben. Planck hatte sich keiner Schule angeschlossen, die es für theoretische Physik im damaligen Deutsch-

[1]) Nach einem am 8. April 1948 in Tübingen gehaltenen Vortrag.

*) *Ausgegeben im September 1948.*

land ja auch gar nicht gab. Er hatte seine Arbeit weniger darauf angelegt, an Einzelfragen in die Augen springende Resultate zu erzielen, als auf Klärung und Vertiefung grundlegender Theoreme von größter Allgemeinheit. Wohl mit Recht erschien ihm als wichtigste Seite theoretisch-physikalischer Forschung, daß sie sich nicht mit schnellen, auffallenden Erfolgen begnügt, sondern ihre Beweise durcharbeitet, bis sie an Kürze, Überzeugungskraft und — sagen wir es ruhig — an Schönheit nichts mehr zu wünschen übriglassen. Darin steht der theoretische Physiker dem Mathematiker nahe, welchem ja auch ein Satz an sich wenig, der Beweis dafür aber alles bedeutet. Andererseits ist begreiflich, daß die Experimentatoren, erst recht die Vertreter der Nachbarwissenschaften, mehr auf sofort verwendbare Resultate des Theoretikers sehen als auf solche stillere Arbeit auf lange Sicht. Und doch hat diese für das Ganze der Physik, ja für das Ganze der Naturwissenschaften eine gar nicht zu überschätzende Bedeutung. Sie sorgt dafür, daß die anfangs unabhängigen Zweige der Physik, die Mechanik, Optik, Thermodynamik usw., nicht unvermittelt nebeneinander bestehen bleiben, daß sie sich vielmehr, wenn die Zeit dafür reif ist, vereinigen; sei es, daß der eine Zweig einen anderen in sich aufnimmt, wie z. B. die Elektrodynamik die Optik, sei es, daß sie sich einer gemeinsamen höheren Gesetzmäßigkeit unterordnen, wie etwa dem von Planck überaus hochgeschätzten Prinzip der kleinsten Wirkung. Nur auf diesem Wege kommt man dem Ideal eines einheitlichen, naturwissenschaftlichen Weltbildes schrittweise näher. Dabei beruht auf der Möglichkeit solcher Zusammenfassung die Überzeugungskraft unserer Wissenschaft. Wenn es in ihrer Geschichte vorkommen konnte, daß sich zwei Gebiete so verschiedener Herkunft wie Elektrodynamik und Thermodynamik zu einer Thermodynamik der Strahlung vereinigen ließen, so muß in beiden, wenn nicht volle Wahrheit, so doch ein erheblicher Kern davon vorliegen. Unter diesem Gesichtspunkt muß man Plancks gesamte Forschung betrachten.

Das große allgemeine Gesetz, welches Planck von seiner Dissertation an bis in sein Alter mehr als alles andere beschäftigte, war der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, welcher für jedes äußerer Einwirkung entzogene System die Zunahme der Entropie ausspricht. Den Entropiebegriff hat 1865 Clausius geschaffen. Aber die überragende Stellung in der Thermodynamik, welche ihm zukommt, hat er ihm nicht verschafft. Das blieb Planck vorbehalten. Anfangs verstand kaum einer, was er wollte; heute spielt die Entropie überall in der Thermodynamik und der ihr verwandten physikalischen Statistik, ja sogar in der Praxis des Wärmeingenieurs die ihr zukommende Rolle; und dazu hat mehr als irgendein anderer Max Planck beigetragen.

Der Satz der Zunahme der Entropie begründet die Unterscheidung von unumkehrbaren, mit Entropiezunahme verknüpften Vorgängen und umkehrbaren, bei denen die Entropie unverändert bleibt, was als idealer Grenzfall auch noch möglich ist. Diesen tiefgehenden Unterschied unablässig in Wort und Schrift betont und durch die ganze Physik hindurch verfolgt zu haben, ist eine Seite der Planckschen Tätigkeit. Wie sehr noch in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts so bedeutende Gelehrte wie Ernst Mach oder Wilhelm Ostwald die Eigenart der thermischen Vorgänge, ihre Unumkehrbarkeit, verkannten, zeigte die weite Verbreitung der sogenannten „Energetik". Der Satz von der Erhaltung der Energie, 1847 von Helmholtz endgültig formuliert und umfassend angewandt, hatte nach einem Stadium der Anfeindung, einem zweiten Stadium der allmählichen Anerkennung schließlich zu einem Begeisterungsrausch geführt, indem man mit diesem einen Satz den Schlüssel zu allen Geheimnissen der Natur, ja des Geisteslebens in der Hand zu haben meinte. Alle anderen Naturgesetze sollten aus ihm allein zwangsläufig hervorgehen: auch der zweite Hauptsatz der Thermodynamik sollte seine Selbständigkeit verlieren. Die Energetik setzt z. B. den typisch unumkehrbaren Übergang der Wärme von höherer zu tieferer Temperatur in Analogie zu dem Fall eines Gewichts unter Einfluß der Schwere, ohne zu bedenken, daß man ein Gewicht auch nach oben werfen kann. Dagegen mußte sich Planck seiner ganzen Natur nach mit aller Schärfe wenden. Aber er meinte später, zurückschauend, daß sein Kampf zur schließlichen Zurückdrängung der Energetik weit weniger beigetragen habe als der Kampf Ludwig Boltzmanns, der von ganz anderer Basis ausging.

Dieser große Wiener Physiker, 14 Jahre älter als Planck, war damals der bedeutendste Vertreter der Atomistik in der Physik, insbesondere ein Verfechter der kinetischen Gastheorie. Und diese Theorie, welche alle Gasgesetze auf die mechanische Wechselwirkung der Molekel zurückführt, kann die Irreversibilität, welche so viele Erscheinungen bei den Gasen im Gegensatz zu der grundsätzlichen Umkehrbarkeit der mechanischen Vorgänge zeigen, nur so erklären, daß sie den zweiten Hauptsatz als Wahrscheinlichkeitsgesetz auffaßt; er trägt danach den Charakter eines statistischen Gesetzes, von welchem kleine Abweichungen nicht die Ausnahme, sondern die Regel sind. Immer klarer hatte Boltzmann im Laufe seiner langen Wirksamkeit den Satz herausgearbeitet, daß die Entropie eines Zustandes unmittelbar durch seine Wahrscheinlichkeit gegeben ist. Daraus ergab sich dann sein Kampf gegen die Energetik. Aber die beiden genannten Bekämpfer, Planck und Boltzmann, waren sich damals über die Auffassung des Entropiesatzes keineswegs einig. Planck war durchaus geneigt, um dem zweiten Hauptsatz den Charakter eines streng bis in die Einzelheiten erfüllten Naturgesetzes zu wahren, die Realität der Atome zu opfern. So schloß sich an die gemeinsame Polemik gegen die Energetiker noch eine zweite zwischen Boltzmann und Planck, oder genauer Plancks damaligem Assistenten Ernst Zermélo an, welche auf Boltzmanns Seite nicht ohne Schärfe war. Sachlich hat diese Polemik außerordentlich zur Klärung der physikalischen Atomtheorie und Statistik beigetragen. Der Umkehreinwand, daß jedes mechanische Geschehen genau so gut in der entgegengesetzten Richtung verlaufen könne, der Wiederkehreinwand, daß in einem abgeschlossenen mechanischen System jeder einmal aufgetretene Zustand sich nach einer gewissen, vielleicht sehr langen Zeit von selbst wieder einstelle, und die Lösung des Widerstreites durch die Erkenntnis, daß die molekularen Bewegungen nicht irgendwelche mechanischen Vorgänge darstellen, sondern der Hypothese der molekularen Unordnung gehorchen, dies ist das bleibende Ergebnis jener Auseinandersetzungen. Es wurde mitentscheidend für Plancks größte Entdeckung.

Man möge aus unserer Darstellung aber nicht schließen, daß Plancks thermodynamische Arbeiten an Einzelfragen vorübergegangen wären; er mußte ja seine Methode daran erproben. Er tat dies z. B. an der Theorie des Verdampfens, Schmelzens und Sublimierens, wobei er unter anderem bewies, daß der größte Wert der Entropie, also das stabilste Gleichgewicht, eintritt, wenn sich die Substanz in die unter den gegebenen äußeren Bedingungen größtmögliche

Zahl von Phasen spaltet. Die chemischen Gleichgewichte in Gasgemischen und verdünnten Lösungen bilden ein anderes Thema aus Plancks Frühzeit, ebenso die Theorie der Thermoelektrizität und der elektrolytischen Konzentrationsketten. Zwar hatte Planck, als er 1943 in einem Rückblick auf diese Periode zu sprechen kam, den Eindruck, als wäre ihm der große amerikanische Theoretiker Willard Gibbs, dessen Schriften in Deutschland lange völlig unbekannt blieben, in allem zuvorgekommen; aber das trifft in dieser Ausschließlichkeit wohl nicht zu. Eine Zusammenfassung aller seiner Arbeiten auf diesem Gebiete gab Planck 1897 in seinen „Vorlesungen über Thermodynamik", einem klassischen Werke, das 1930 in neunter Auflage erschien und jetzt eine zehnte finden soll. Im Vorwort zur ersten Auflage findet sich eine ausführliche Begründung für Plancks Methode.

Der Thermodynamik ist Planck dann auch bis in sein Alter hinein treu geblieben. Die Potentialdifferenzen in verdünnten Elektrolyten beschäftigten ihn bis 1935. 1910 modifizierte er das 1906 von Walter Nernst aufgestellte Wärmetheorem dahin, daß die Entropie jedes chemisch einheitlichen Körpers beim absoluten Nullpunkt der Temperatur Null ist; hat auch spätere Forschung für Lösungen und einige andere Fälle gewisse Abänderungen angebracht, so hat sich doch diese Fassung als Grundlage für die statistische Berechnung der Entropie vollauf bewährt. Und noch 1934 gab der 76jährige Planck für die alte Streitfrage der richtigen Fassung des Braun-Le Chatelierschen Prinzips die vielgesuchte abschließende Lösung.

Ein anderes Arbeitsgebiet aus der zweiten Hälfte seiner Wirksamkeit war die spezielle Relativitätstheorie. Als einer der ersten erkannte Planck ihre Bedeutung; in einem allen Teilnehmern unvergeßlichen Colloquium, dem ersten des Wintersemesters 1905/06, trug er über Einsteins soeben erschienene Abhandlung „Zur Elektrodynamik bewegter Körper" vor. Er stellte dabei einen Überlegungsfehler in dieser berühmten Arbeit richtig, der die Dynamik des Massenpunktes betraf. Erst dadurch ergab sich dieselbe Dynamik, welche 1904 H. A. Lorentz aus einem die Relativitätstheorie vorbereitenden, aber nicht mit ihr identischen Gedankenkreise abgeleitet hatte. In einer Reihe von Veröffentlichungen fügte Planck sodann die Thermodynamik in die Relativitätstheorie ein; dies gipfelte in dem Satz der Invarianz der Entropie gegenüber der Lorentz-Transformation. Auch Einsteins Satz der Trägheit der Energie erfuhr neue Anwendung und Erläuterung. Einstein hatte die Masse m eines Körpers auf ihre Ruheenergie E mittels der berühmten Form $m = E/c^2$ zurückgeführt, in welcher c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Aber nach der Relativitätstheorie läßt sich die Trägheit eines Stücks Materie nur dann durch eine Masse kennzeichnen, wenn es sich um ein für sich allein im Gleichgewicht befindliches System, „ein vollständiges statistisches System", handelt. Viel allgemeiner ist der Begriff der Impulsdichte $\mathfrak{g}$, und ihn verbindet Plancks Fassung des Gesetzes mit der Energieströmung $\mathfrak{S}$ durch die stets anwendbare Gleichung $\mathfrak{g} = \mathfrak{S}/c^2$. Sie ist es, die wenig später in der auf Hermann Minkowski und Max Abraham zurückgehenden vierdimensionellen Darstellung der Relativitätstheorie die Zusammenfassung von elastischen Spannungen, Impulsdichte, Energieströmung und Energiedichte zu einem vierdimensionalen Tensor ermöglichte und dadurch der relativistischen Dynamik die abschließende Form gab.

In diesen Arbeiten Plancks spielt eine wichtige Rolle eine Hohlraumstrahlung, die sich in einer gleichförmig bewegten Hülle befindet. Fr. Hasenöhrl zeigte 1904, daß der Energie dieser Strahlung eine Masse entspricht; aber seine Überlegung war nur qualitativ richtig. So gab 1905 Planck seinem Doktoranden Kurt v. Mosengeil das Thema, sie zu berichtigen. In der Tat beseitigte dieser einige Versehen; aber nach seinem jähen Tode in den Alpen mußte Planck feststellen, daß noch weitere Verbesserungen erforderlich waren. Mit diesen erschien dann die Dissertation unter Mosengeils Namen 1907 in den Annalen der Physik. Daß die Hohlraumstrahlung kein vollständiges statisches System darstellt, daß daher Einsteins Gleichung $m = E/c^2$ nicht für sie gilt, bemerken wir nebenbei, um einer gewissen Legendenbildung über die Herkunft des Satzes von der Trägheit der Energie entgegenzutreten.

Der allgemeinen Relativitätstheorie stand Planck mit einer gewissen Skepsis gegenüber. Trotz aller Anerkennung für die Größe des Gedankens; Schwere und Trägheit der Körper auf einen Nenner zu bringen, zweifelte er, ob ihre heutige Gestalt schon die endgültige sei. Für die spezielle Relativitätstheorie hingegen trat er immer wieder mit größtem Nachdruck ein. In den zum Teil wüsten Kämpfen um sie, welche nach 1920 zu üblen persönlichen und politischen Angriffen ausarteten, trat er mannhaft für Einstein ein, mußte sich daher später unter dem „Dritten Reich" den Titel eines „weißen Juden" gefallen lassen. Daß sich Einsteins Abschied aus der Berliner Akademie, der an sich 1933 unvermeidlich geworden war, in so unerfreulicher Form abspielte, war nur infolge Plancks Abwesenheit von Berlin möglich. Freilich überhäuften die Vertreter der sogenannten „Deutschen Physik" Planck auch als den Vater der ihnen verhaßten Quantentheorie mit Schmähungen.

Schon die bisher erwähnten Leistungen hätten Planck einen ehrenvollen Platz in der Geschichte der Physik gesichert. Was ihm aber eine der ersten Stellen in ihr verschafft, ist die eine große, geniale Tat: die Entdeckung des Gesetzes der Wärmestrahlung, verbunden mit der Begründung der Quantentheorie. Wir gehen darauf etwas näher ein.

Im Jahre 1859 hatte Gustav Kirchhoff aus dem zweiten Hauptsatz bewiesen, daß sich in einem einseitig von den Wänden gleicher Temperatur eingeschlossenen Hohlraum ein Strahlungszustand ausbildet, der nicht von der besonderen Beschaffenheit der Wände, sondern lediglich von der Temperatur abhängt. Diese universelle Hohlraumstrahlung, welche Willy Wien und Otto Lummer 1895 der Beobachtung zugänglich machten, indem sie in den Hohlraum durch ein kleines, den Strahlungszustand nicht merklich störendes Loch hineinschauten, wurde schon deshalb Gegenstand wichtiger Betrachtungen, weil man nach Kirchhoff von ihr auf die Wärmestrahlung jedes beliebigen Körpers schließen kann. Aber dem Ziele, ihre Energie und deren Verteilung über das Spektrum zu ermitteln, kamen die Physiker nur schrittweise näher. Den ersten Schritt bezeichnet das 1884 von Boltzmann bewiesene Gesetz, demzufolge die Gesamtenergie der Hohlraumstrahlung zur vierten Potenz der Temperatur proportional ist. Wesentlich weiter kam 1893 Willy Wien mit dem nach ihm benannten Verschiebungsgesetz, welches die Energieverteilung für jede beliebige Temperatur zu ermitteln gestattet, sobald sie für eine bestimmte Temperatur bekannt ist. Aber die zahlreichen Ansätze zur vollständigen Berechnung der Energieverteilung schlugen fehl; ja namhafte englische Physiker leugneten überhaupt die Existenz eines thermischen Gleichgewichts zwischen Materie und Strahlung. In

diesem Stadium trat Planck in die Arena. Ein solches von den Sondereigenschaften der Körper unabhängiges Phänomen wie die Hohlraumstrahlung mußte ihn ja auch bei seiner Eigenart besonders reizen.

In sechs großen Abhandlungen suchte er sich seit 1897 dem Problem zu nähern. Zunächst dachte er sich die Hohlraumstrahlung eingeschlossen in vollkommen spiegelnde Wände, die keinerlei Energieaustausch mit ihr haben, und ersetzte die Materie, die mit ihr im Gleichgewicht sein soll, durch ein System idealer monochromatischer Resonatoren, deren einzige Dämpfung durch ihre Ausstrahlung verursacht wird. Das konnte nach dem Kirchhoffschen Satze den Strahlungszustand nicht gegenüber der Wirklichkeit verändern. Sodann folgte eine elektrodynamische Untersuchung über Ausstrahlung und Absorption solcher Oszillatoren. Planck mußte bald erkennen, daß dieses Problem gar nicht allein durch Angabe einer spektralen Energieverteilung in der Strahlung zu lösen ist, außer wenn die Strahlung einem Unordnungsprinzip gehorcht, das der molekularen Unordnung der Gastheorie entspricht. Er nannte es die Hypothese der natürlichen Strahlung. Nun ergab sich in der Tat eine Beziehung zwischen der mittleren Schwingungsenergie eines Oszillators, der Intensität der Strahlung von gleicher Schwingungszahl und der Schwingungszahl selbst. Das Problem reduzierte sich darauf, die Abhängigkeit der mittleren Oszillatorenergie von der Temperatur zu ermitteln.

Während aber alle anderen Forscher direkt nach solchem Zusammenhang gesucht hatten, sah Planck auf Grund seiner einzigartigen Einfühlung in das Wesen der thermischen Vorgänge das eigentliche Problem bei dem Zusammenhang zwischen Energie und Entropie eines Resonatorensystems. Die Hypothese der natürlichen Strahlung begründete die Unumkehrbarkeit der Ein- und Ausstrahlungsvorgänge. Planck fand bald eine Zustandsfunktion des Oszillatorensystems, die gemäß dieser Hypothese bei der Wechselwirkung von Strahlen und Oszillatoren stets zunehmen mußte. Dies nahm er als hinreichendes Kriterium dafür, daß sie die Entropiefunktion sein müsse. Das so zustandegekommene Strahlungsgesetz stimmte in der Tat mit einem von anderer Seite angegebenen, aber auf unhaltbaren Überlegungen beruhenden Gesetze und den damaligen Strahlungsmessungen überein. Das war der Stand der Forschung im Sommer 1900.

Dann aber zeigten verbesserte Messungen von Friedrich Kurlbaum und Heinrich Rubens seine Unzulänglichkeit. Zwar stimmte es gut für die kurzwelligen Teile des Spektrums; für die langwelligen Teile jedoch trat eine andere, von Rayleigh und Jeans hergeleitete Formel in ihr Recht. Man hatte also für jeden dieser Teile eine brauchbare Annäherung; es lag der Gedanke nicht fern, sie durch eine das Ganze umfassende Interpolationsformel zu ersetzen. Wiederum folgte Planck seiner Linie, indem er dabei nicht direkt nach dem Zusammenhang von Energie und Temperatur, sondern von Energie U und Entropie S fragte, oder genauer, nach dem zweiten Differential d^2S/dU^2, weil für ihn die Grenzfälle einfache algebraische Ausdrücke liefern. Das Ergebnis der Interpolation war die Plancksche Strahlungsformel, welche er im Anschluß an Kurlbaums Vortrag über jene Messungen am 19. Oktober 1900 in der Physikalischen Gesellschaft von Berlin vorbrachte. Schon am Tage darauf berichtete ihm Rubens, daß sie zu den neuen Messungen passe. Sie hat sich trotz mancher Anzweiflungen auch gegenüber den späteren, immer genaueren Messungen bewährt. Wenn wir sie für abschließend richtig halten, so beruht dies dennoch mehr als auf den Messungen auf der theoretischen Begründung, die Planck seiner Strahlungsformel gab.

Diese fiel ihm nun freilich wesentlich schwerer als die halbempirische Aufstellung des Gesetzes. Planck erkannte bald, daß die vorliegende Physik dazu überhaupt nicht ausreiche. Schon insofern mußte er sich völlig umstellen, als er den von ihm früher nicht recht geglaubten Boltzmannschen Zusammenhang von Entropie und Wahrscheinlichkeit übernahm. Um aber die Wahrscheinlichkeit einer Energieverteilung über eine Gesamtheit von Resonatoren zu ermitteln, mußte er sich zu einer ganz revolutionären Tat entschließen: er sah sich genötigt, die Energie zusammengesetzt zu denken aus gewissen Energiequanten endlicher Größe, also die stetige Veränderlichkeit der Energie zugunsten einer Art Energieatomistik aufzugeben. Nach seinen eigenen Worten war dies die schwerste Gedankenarbeit seines Lebens, aber sie führte zwangsläufig zu der vorher halb erratenen und empirisch bestätigten Strahlungsformel zurück. Das Wiensche Verschiebungsgesetz nötigte ihn dabei, das neu eingeführte Energiequantum zur Schwingungszahl des Oszillators proportional zu setzen, der Proportionalitätsfaktor ist das berühmte Plancksche „elementare Wirkungsquantum", das man nach seinem Vorgang mit h bezeichnet. Es erwies sich je länger desto mehr als die kennzeichnende, universelle Naturkonstante für alle Atomvorgänge. Planck war sich von Anfang an bewußt, mit dieser Ableitung etwas der Newtonschen Mechanik an Bedeutung Gleiches geschaffen zu haben. In der Tat hat sie sich durch alle Wechsel der Form, welche die Quantentheorie erlebt hat, bis auf den heutigen Tag erhalten. Sie verbürgt mehr noch als die Messungen die genaue Gültigkeit des Planckschen Strahlungsgesetzes. Planck trug sie am 14. Dezember 1900, wiederum in der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin, vor. So wurde dieser Tag der Geburtstag der Quantenphysik.

Außer den Konstanten h kommt im Strahlungsgesetz, herrührend von der Boltzmannschen Formel für Entropie und Wahrscheinlichkeit, eine Konstante k vor, die eng mit der Zahl der Moleküln/Mol und deshalb mit der elektrischen Elementarladung e zusammenhängt. Beide bestimmte Planck sogleich nach den damals besten Messungen. Er fand $h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}$ erg/sec gegen den jetzt besten Wert von $h = 6{,}26 \cdot 10^{-27}$ erg/sec und $k = 1{,}346 \cdot 10^{-16}$ erg/grad, damit $e = 4{,}69 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten gegen die jetzt besten Werte $k = 1{,}380 \cdot 10^{-16}$ erg/grad und $e = 4{,}803 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten. Die damaligen direkteren Bestimmungen von e gaben wesentlich kleinere Werte; dies trug wohl dazu bei, daß man Plancks Theorie zunächst skeptisch betrachtete.

Überhaupt nahmen die Zeitgenossen anfangs wenig Kenntnis davon. Die Idee der endlichen Energiequanten stand in viel zu schroffem Gegensatz zu allen früheren Vorstellungen. Es war dann bekanntlich Einstein, der sie aufgriff und aus ihr 1905 den lichtelektrischen Effekt, 1907 das Abfallen der spezifischen Wärme fester Körper mit abnehmender Temperatur herleitete. Es ist weiter bekannt, wie 1913 James Franck und Gustav Hertz die diskreten Energieniveaus, welche Plancks Energie für die Resonatoren behauptete, bei den Atomen entdeckten, und wie Niels Bohr das quantenmechanische Atommodell aufstellte, wie dann in den folgenden Jahren Bohr und Arnold Sommerfeld die Linienspektren der Atome entzifferten. Planck hat diese Entwicklung mit größtem Interesse verfolgt, besonders später die Born-Heisen-

bergsche Quantenmechanik und die Schrödingersche Wellenmechanik. Aber selbst hat er nicht eingegriffen, auch niemals einen Doktoranden an ein dazugehöriges Thema gesetzt. Ihn quälte vielmehr die Frage, ob man nicht doch eine Verbindung zwischen der älteren Physik und der Quantentheorie herstellen könne. Denn es mußte ja gerade ihm besonders schmerzlich sein, daß die Einheit des physikalischen Weltbildes, die vor 1900 schon fast greifbar zu sein schien, durch seine Entdeckung in geradezu unabsehbare Ferne gerückt wurde. Immer wieder machte er Ansätze, den Gegensatz wenigstens zu mildern. Trotz ihrer Erfolglosigkeit schien ihm die darauf verwandte Mühe nicht vergeblich. „Denn", so äußerte er in einem seiner Vorträge, „auch eine Enttäuschung, wenn sie nur gründlich und endgültig ist, bedeutet einen Schritt vorwärts und die mit der Resignation verbundenen Opfer werden reichlich aufgewogen durch den Gewinn an Schätzen neuer Erkenntnis".

Neben der Forschung stand für Planck gleichberechtigt und zu manchen Zeiten vielleicht überwiegend die Lehrtätigkeit. Er hing ihr mit Leidenschaft an. Er las in seiner Berliner Zeit bis zu der im Jahre 1928 erfolgten Emeritierung einen sechssemestrigen Kursus vierstündiger Vorlesungen, zu denen stets noch ein einstündiges Seminar trat. Die Themen der Vorlesung waren im ersten Semester Mechanik der Massenpunkte und starren Körper, im zweiten Dynamik der deformierbaren Körper; dann folgten Elektrizitätslehre, Optik und Theorie der Wärme, bei der außer der Thermodynamik auch die Wärmeleitung zur Sprache kam. Das sechste Semester des Kursus war, wenigstens in den Zeiten, die ich miterlebte, und später, Theoremen umfassenderer Art gewidmet. Es hat wohl allmählich manche Wandlung erfahren. Es kamen darin die physikalische Statistik, einschließlich kinetischer Gastheorie, und die Theorie der Wärmestrahlung vor, deren Darstellung Planck immer mehr zu vervollkommnen suchte. Man kann sich von den Vorlesungen ein gutes Bild nach den fünf Bänden seiner Einführung in die theoretische Physik machen und nach seinem Buche über Strahlungstheorie, das von 1906 an in mehreren, immer wieder umgestalteten Auflagen erschien. Die besondere Kunst der Planckschen Darstellung bestand darin, die Dinge einfach und doch überzeugend, dabei stets unter Hinblick auf die Einheit der Physik vorzutragen. In den Übungen stellte Planck Aufgaben, die sich an die gleichzeitige Vorlesung anschlossen, zur schriftlichen Bearbeitung. Bei der der nächsten Übungsstunde vorausgehenden Vorlesung reichten die Studenten ihre Lösungen ein, der Assistent sah sie noch am gleichen Tage durch und berichtete gegen Abend in Plancks Wohnung darüber. An Hand dieses Berichtes und an eigenen Nachprüfungen suchte dann Planck unter den Bearbeitern einen aus, der am Tage darauf seine Ausarbeitung vorzutragen hatte. Diese Ausbildung, bei der man unter anderem auch viel Mathematik lernte, hat Generationen junger Physiker, Theoretikern und Experimentatoren, das Rüstzeug für ihre spätere wissenschaftliche Tätigkeit gegeben, auch wenn sie sich Forschungsgebieten zuwandten, die, wie z. B. die Radioaktivität, den Planckschen Vorlesungen ganz fern lagen.

Sonst beschäftigte sich Planck verhältnismäßig wenig mit den Studenten. Nach der Vorlesung und dem Seminar, die stets in den frühen Morgenstunden waren, verließ er bald das Universitätsgebäude, es sei denn, daß einer der Hörer ihn noch ein paar Minuten mit Fragen festhielt. Sein Institut für theoretische Physik bestand lediglich aus einer Bibliothek, aus welcher Dozenten und Studenten Bücher entleihen konnten; es war nur wenige Stunden in der Woche, anschließend an die Vorlesungen, geöffnet. So kam es auch, daß Planck verhältnismäßig wenig Doktoranden gehabt hat. Er erwartete von diesen eine Selbständigkeit, wie er sie bei seiner eigenen Dissertation bewiesen hatte.

Einen nicht unerheblichen Teil seiner Zeit widmete Planck, namentlich in späteren Jahren, der Verwaltungstätigkeit. Seit 1912 einer der vier „beständigen Sekretare" der Preußischen Akademie der Wissenschaften, führte er nach dem satzungsmäßigen Turnus oftmals den Vorsitz in der Mathematisch-Physikalischen Klasse und dem Plenum. Das bedeutete keine kleine Belastung bei der großen Zahl von Aufgaben, welche die Akademie betreute, und dementsprechend großen Stabe von Beamten, den sie neben ihren 60—70 ordentlichen Mitgliedern hatte. Und Planck nahm es ernst mit solchen Pflichten. Als z. B. nach 1918 manchmal Streiks und andere Störungen die Berliner Verkehrsmittel lahmlegten, scheute er sich nicht, den fast zweistündigen Weg von seinem Hause in der Villenkolonie Grunewald zu dem neben dem Denkmal Friedrich des Großen im Zentrum der Stadt liegenden Akademiegebäude Tag für Tag zu Fuß zurückzulegen. Freilich kam ihm dabei seine körperliche Rüstigkeit zustatten, die er bis in seinem hohen Alter bewahrte. Konnte er doch mit 79 Jahren noch den Groß-Venediger besteigen! Gelegentlich gehörten auch Reisen zu den Pflichten eines Sekretars, um die Berliner Akademie beim Kartell der deutschen Akademien oder bei wissenschaftlichen Jubiläen zu vertreten. In der Inflationszeit kam es dabei einmal vor, daß sein Reisegeld infolge gar zu rascher Entwertung am letzten Tage nicht mehr zum Übernachten ausreichte. Da brachte der keineswegs mehr jugendliche Planck eben eine Nacht im Wartesaal eines Bahnhofs zu, obwohl es wohl kaum unmöglich gewesen wäre, sich das Fehlende zu besorgen. Über Mißgeschicke solcher Art zu klagen, war nicht seine Art. Und sofern es sich nicht um Größeres handelte, traf es ihn auch nicht besonders tief.

Mustergültig war seine Leitung geschäftlicher Verhandlungen in der Akademie. Von seinen juristischen Vorfahren hatte er wohl die Fähigkeit geerbt, bei voller Wahrung der Satzungen und anderer Rechtsvorschriften dennoch nie in Pedanterie zu verfallen oder die Sitzungen unnötig lang hinzuziehen. Auch verließ ihn nie die Gabe, auf Meinungsäußerung anderer mit Ruhe und Höflichkeit einzugehen und doch, wo es sich um Grundsätze handelte, seine Ansicht mit Festigkeit zu vertreten. Erst die turbulenten Zeiten des „Dritten Reiches" machten ihm dies manchmal unmöglich. Viele Akademiemitglieder hätten z. B. gewünscht, daß er und die drei anderen Sekretare Ende 1938 dem autorativ geäußerten Wunsche des Ministeriums Rust, sie sollten ihre Ämter niederlegen, nicht gar so prompt nachgekommen wären. Aber nationalsozialistischer Mentalität stand Planck überhaupt ziemlich verständnislos gegenüber. Seinem reinen Herzen war es schwer, an etwas grundsätzlich Schlechtes bei anderen Menschen zu glauben. Er verfiel deshalb, nicht in der Theorie, aber in der Praxis, leicht dem sokratischen Irrtum, man könne die Bösen durch Aufklärung bekehren. So erklärt sich meines Erachtens sein Versuch, im Mai 1933 durch eine Audienz bei Hitler eine Änderung in der Behandlung jüdischer Gelehrter zu erreichen. Das war doch von vornherein aussichtslos! In der Tat hörte ihn Hitler nicht einmal

bis zu Ende an, sondern brach das Gespräch durch einen Wutanfall ab.[1])

Aber auch, wenn man Plancks Ansichten nicht teilte, das Vertrauen zu seiner Rechtschaffenheit und zur Lauterkeit seines Charakters blieb unerschüttert. Darum wählte ihn die Physikalische Gesellschaft in Berlin, später die Deutsche Physikalische Gesellschaft, immer wieder in ihren Vorstand und zweimal zum Vorsitzenden, später zum Ehrenmitglied. Darum wurde er auch 1930 nach dem Tode Adolf v. Harnacks Präsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft; er führte dieses Amt bis 1937 und übernahm es wieder auf kürzere Zeit 1945 nach dem Zusammenbruch.

Die Preußische Akademie hatte alljährlich zwei feierliche öffentliche Sitzungen; die eine war dem Andenken Friedrich des Großen gewidmet, die andere dem ihres Begründers Leibniz. Jedesmal hatte der vorsitzende Sekretar die Sitzung mit einer Ansprache zu eröffnen. So hat auch Planck oft über diese beiden geschichtlichen Persönlichkeiten gesprochen: trotz der Gleichförmigkeit des Themas wußte er immer neue Seiten abzugewinnen und Verbindungen zwischen dem Wirken dieser Männer und der Gegenwart herzustellen. Es gab oft weihevolle Stunden im Festsaal des Akademiegebäudes. Beachtenswert waren auch seine Begrüßungsreden an neueingetretene Akademiemitglieder, die an jedem Leibniztage zu halten waren. Mit großer Geschicklichkeit und viel Takt wußte er jeden in kurzen Sätzen so zu kennzeichnen, daß die Zuhörer von der wissenschaftlichen Eigenart des Begrüßten eine klare Vorstellung bekamen.

Dieselbe Beredsamkeit im besten Sinne des Wortes zeigte Planck auch in anderen öffentlichen Vorträgen, denen er sich namentlich nach seiner Emeritierung widmete. Sie erschienen ihm selbst ein wesentlicher Teil seiner Wirksamkeit, und er setzte sie bis kurz vor seinem Tode fort. Gedruckt sind sie in mehreren Bänden. Ihr Ziel ist, dem Laien Einblick in Wesen und Treiben der modernen Naturwissenschaft, vornehmlich der Physik, zu gewähren. Sie sind im besten Sinne populär, nämlich Muster dafür, wie man, ohne der wissenschaftlichen Exaktheit etwas zu vergeben, keineswegs jedes neue Resultat, aber doch den Geist der Forschung dem Fernerstehenden verständlich machen kann. Ein Thema zieht sich durch alle diese Vorträge durch: die Einheit des physikalischen Weltbildes und eng damit zusammenhängend das Problem „Determinismus oder Indeterminismus". Nirgends läßt Planck einen Zweifel aufkommen an seiner Überzeugung, daß in jeder Wissenschaft der Determinismus der einzige auf die Dauer haltbare Standpunkt ist, und daß es nur ein Übergangsstadium bedeutet, wenn die Quantenphysik heute lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen liefert. Aber er verkannte freilich auch nicht die unerhörte Schwierigkeit des dem heutigen Physiker gestellten Problems, ein Begriffssystem aufzustellen, welches von der Grundvoraussetzung absieht, daß jeder Körper zu jeder Zeit einen bestimmten Ort hat. Wie ein Leitmotiv für alle zukünftige Forschung klingt uns sein Ausspruch: „Der Maßstab für die Bewertung einer neuen physikalischen Theorie liegt nicht in ihrer Anschaulichkeit, sondern in ihrer Leistungsfähigkeit."

Ganz von selbst führt dies zu dem uralten Problem, ob auch die menschlichen Handlungen determiniert sind, oder ob es Willensfreiheit gibt. Mehrmals ist Planck darauf eingegangen und hat ausgeführt, wie bei jeder Entscheidung des Menschen die Erkenntnis der dafür oder dagegen sprechenden Motive dadurch kompliziert wird, daß hier Subjekt und Objekt der Erkenntnis zusammenfallen; jede Reflexion über die eigenen Motive schafft schon wieder ein neues Motiv. Wenn ich Planck recht verstehe, so ist nach ihm diese Komplikation unüberwindlich und bewirkt den Schein der eigenen freien Willensentscheidung, während wir doch bei anderen, aber auch über die eigenen abgeschlossenen Handlungen recht wohl deterministisch zu urteilen vermögen. Aber nie hat Planck den Menschen von seiner ethischen Verantwortlichkeit entlasten wollen.

In seiner Arbeit war Planck typischer Einzelgänger. Hat er auch manchmal jüngere und ältere Fachgenossen wissenschaftlich beraten, er selbst hat nie um Rat gefragt. Was er trieb, erfuhr man nur aus seinen Veröffentlichungen. Wissenschaftliche Anregung suchte er, abgesehen von dem eigenen Studium der Literatur, in wissenschaftlichen Sitzungen, namentlich in denen der Physikalischen Gesellschaft und in dem physikalischen Kolloquium der Universität. Beide besuchte er mit größter Regelmäßigkeit. Nicht ganz so regelmäßig nahm er an den alljährlichen Physikertagungen teil, war aber im Oktober 1946 bei der Gründungssitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in der britischen Zone anwesend. Planck war zu keiner Zeit ein eigentlicher Diskussionsredner; was er äußerte, sollte zuvor in Ruhe und mit Bedacht überlegt sein. Aber wenn die Rede auf eine ihm geläufige Frage kam, so verfochte er seine Meinung mit großer Gewandtheit. Seine Arbeiten und Briefe schrieb Planck mit der Hand. Ich wüßte nicht, daß er je diktiert hätte; und eine Schreibmaschine brauchte er nicht angesichts der wundervollen Klarheit seiner Schrift, die sich bis wenige Monate vor seinem Tode erhielt. Die ganze Ausgeglichenheit seines Wesens spiegelte sich darin.

Außerhalb der Arbeit aber war Planck eine durchaus gesellige Natur. Als die Physikalische Gesellschaft zu Berlin noch kleiner war und die Mitglieder in engerem persönlichen Kontakt standen, nahm er häufig an den Nachsitzungen teil, welche die Teilnehmer der Sitzungen in einer nahegelegenen Gaststätte vereinten. Und mehr noch liebte er häusliche Geselligkeit, namentlich wenn dabei Musik getrieben wurde. Überhaupt spielte die Musik eine sehr große Rolle in seinem Leben. In jüngeren Jahren beschäftigte er sich viel mit ihrer Theorie und brachte stets in seiner Vorlesung über deformierbare Körper bei der Theorie der Schallschwingung einiges darüber vor. Es gehörte zu seinem Institut ein Harmonium mit reiner (d. h. nicht temperierter) Stimmung; die Hörer jenes Kollegs bekamen jedesmal Gelegenheit, ihn darauf spielen zu hören. Sein eigentliches Instrument war das Klavier. Darauf zu spielen bedeutete ihm Erholung von der wissenschaftlichen Arbeit. Selbst in Zeiten größter Anspannung sparte er sich täglich eine Stunde dafür ab; in eingeschränktem Maße behielt er es auch bei, als Alterserscheinungen zwei Finger der rechten Hand lahm legten. Erst als ihn die letzte Erkrankung zwang, eine Klinik aufzusuchen, hörte er damit auf.

Viel Freude hat Planck erlebt, die schönste selbstverständlich in seiner Arbeit. Aber auch Ehrungen wurden ihm zuteil; je älter er wurde, um so mehr häuften sie sich. Viele Fakultäten im In- und Ausland verliehen ihm den Doktortitel ehrenhalber; bei wie vielen Akademien und wissenschaftlichen Körperschaften er korrespondierendes oder Ehrenmitglied war, läßt sich hier nicht aufzählen. Die Deutsche Physikalische Gesellschaft stiftete ihm zu Ehren die Planck-Medaille, die alljährlich in Gold verliehen werden sollte. Die Astronomische Gesellschaft überreichte ihm zum 80. Geburtstag das

[1]) Siehe Plancks Bericht darüber in den „Physikalischen Blättern" 1947, S. 143.

„größte Geschenk" in Gestalt eines der kleinen Planeten, den sie die Stella Planckiana benannte. Seinen größten Stolz bildeten der Nobelpreis, der ihm für 1919 verliehen wurde, und die Friedensklasse des Ordens pour le mérite. Die letzte große Freude war es ihm, daß die Royal Society, der er schon lange als foreign member angehörte, ihn 1946 zur Newton-Feier einlud.

Aber auch Schmerz blieb ihm nicht erspart. 1909 starb ihm die erste Gattin, und er überlebte alle vier Kinder aus der Ehe mit ihr. Der erste Weltkrieg raubte ihm den ältesten Sohn Karl. Im zweiten ging sein schönes Heim im Grunewald in Flammen auf, wobei unter anderem sein jahrzehntelang mit Sorgfalt geführtes Tagebuch verbrannte, aus dem wir jetzt so viel Wertvolles würden entnehmen können. Auf einer Vortragsreise wurden Planck und seine Frau Zeugen des Untergangs von Kassel; sie waren mehrere Stunden in einem Luftschutzkeller eingeschlossen. Das Rittergut Rogätz a. d. Elbe, ein Jahr hindurch sein Asyl, wurde 1945 zum Kampfgebiet; und als zwei Amerikaner ihn und seine Frau endlich herausholten, kamen diese in Göttingen mit einem Handkoffer und einem Rucksack als einziger Habe an. Dort mußten sie noch die Wohnung mehrfach wechseln, bis sie eine dauernde Unterkunft bei Verwandten fanden. Das furchtbarste aber war es für Planck, als im Januar 1945 sein zweiter Sohn Erwin als Mitwisser um die Verschwörung des 20. Juli hingerichtet wurde, nachdem man der Familie Monate hindurch Hoffnung auf Begnadigung gemacht hatte. Es war dies der einzige Fall, in welchem er, der sonst alles schweigend trug, in Briefen über sein Geschick klagte.

Max Planck ruht seit dem 7. Oktober 1947 auf dem städtischen Friedhof von Göttingen. An seinem Grabe fand am 23. April, dem Tage, an dem er 90 Jahre alt geworden wäre, eine Gedenkfeier statt. Uns bleiben die Erinnerung an ihn, zudem seine Leistungen und nicht zuletzt seine Mahnungen. In der Rektoratsrede vom 3. August 1914, in welcher er trotz der allgemeinen ungeheuren Aufregung über den Kriegsausbruch nach einem kurzen Hinweis auf das Zeitgeschehen in aller Ruhe über ein physikalisches Thema, nämlich „Dynamische und statistische Gesetzmäßigkeit" sprach, wies er auf die Grenzen hin, die der menschlichen Erkenntnis gesetzt sind, und fuhr fort:

„Aber der Mensch in seinem unablässigen Drange kann sich mit dieser Grenze nicht begnügen, er will und muß über sie hinausdringen, da er eine Antwort braucht auf die wichtigste, unaufhörlich wiederkehrende Frage seines Lebens: wie soll ich handeln? — und die volle Antwort auf diese Frage findet er nicht beim Determinismus, nicht bei der Kausalität, überhaupt nicht bei der Wissenschaft, sondern er findet sie nur bei seiner sittlichen Gesinnung, bei seinem Charakter, bei seiner Weltanschauung.

Gewissenhaftigkeit und Treue, das sind die Führer, die ihm wie in der Wissenschaft, so auch weit darüber hinaus den rechten Lebensweg weisen, die ihm keineswegs glänzende Augenblickserfolge, wohl aber die höchsten Güter des menschlichen Geistes, nämlich den inneren Frieden und die wahre Freiheit, gewährleisten."

Göttingen, Max-Planck-Institut für Physik.

Eingegangen am 15. April 1948.

Die geochemische Bilanz.

Von Carl W. Correns.

An der Oberfläche der Erde findet ein ständiger Stoffumsatz statt. Die Gesteine zerfallen unter dem Einfluß der Verwitterung, dabei entstehen durch chemische Umsetzung neue Minerale. Diese werden zusammen mit den von der Verwitterung nicht oder nicht vollständig abgebauten Mineralen transportiert und als Sedimente abgelagert, zum weitaus größten Teil im Meer, zum kleineren in festländischen Senken. Die bei der Verwitterung in Lösung gegangenen Stoffe, die nicht als Minerale wieder ausgeschieden werden, gelangen ins Meer und bleiben zum Teil dort in Lösung, zum Teil werden sie wie Ca, Si und C im Meer ausgeschieden. Diesen Stoffumsatz quantitativ zu berechnen, ist eine reizvolle Aufgabe, die schon öfters angegriffen worden ist. Ich will auf die älteren Versuche, wie den von Clarke 1924, nicht eingehen, sondern an die letzte derartige Berechnung von V. M. Goldschmidt 1933 anknüpfen, ihre Zuverlässigkeit diskutieren, die Berechnungen weiter ausbauen und einige Folgerungen daraus ziehen.

Die Voraussetzung aller dieser Rechnungen ist, daß zunächst auf der Erdrinde magmatische, d. h. aus dem Schmelzfluß gebildete Gesteine vorhanden gewesen sind, die das Rohmaterial für die Sedimente geliefert haben. Dann müssen die von den primären Gesteinen gelieferten Elemente sich entweder im Meerwasser oder in den Sedimenten finden. Kennt man nun die Gehalte der primären Gesteine, des Meeres und der Sedimente an verschiedenen Elementen und die Menge des Meerwassers, so kann man daraus die Menge der primären Gesteine und der daraus gebildeten Sedimente berechnen. Bei dieser Berechnungsart werden die Sedimente, die im Laufe der Zeit wieder abgetragen und aufgelöst wurden, nicht berücksichtigt. Voraussetzung ist ferner, daß das Meerwasser nicht etwa von vornherein solche Elemente, die zur Berechnung verwendet werden, enthält, daß bei ihm ebenso wie bei den Sedimenten nur solche Elemente berücksichtigt werden, die aus den magmatischen Gesteinen stammen.

Goldschmidt bezieht seine Rechnung nach dem Beispiel von Schlösing auf 1 cm² Erdoberfläche. Das hat den Vorteil, daß man nicht mit allzu großen Zahlen hantieren muß, und wir wollen deshalb im folgenden unsere Mengenwerte ebenso angeben, also in kg/cm². Als Formel geschrieben würde unsere Bilanz lauten, wenn wir die Menge der verwitterten Magmatite oder Eruptivgesteine mit E, die der neugebildeten Sedimente mit S, die des Meeres mit M und die Prozentgehalte an einem Element X (oder Oxyd) in den Eruptivgesteinen mit e_x, in den Sedimenten mit s_x und in dem Meerwasser mit m_x bezeichnen:

$$E \cdot e_x = M \cdot m_x + S \cdot s_x \qquad (1)$$

In dieser Gleichung sind M und m_x allein wirklich genau bekannt. Die Werte von e_x sind nach Berechnungen von Clarke und Washington aus dem Jahre 1924 allgemein für die häufigeren Elemente angenommen worden, aber durchaus nicht wirklich sicher. Die

von denselben Autoren gemachten Angaben für die Sedimente sind viel unsicherer. Es wurde nämlich nicht eine große Zahl von Einzelanalysen bewertet und dem Durchschnitt zugrunde gelegt, wie bei den Magmatiten, sondern Mischproben von Sedimenten analysiert, ein Verfahren, das einen wirklichen Durchschnitt der Sedimente nur ergeben könnte, wenn die einzelnen Sedimente mengenmäßig gemäß ihrer Verbreitung in der Mischung vertreten wären. Daß die Zusammensetzung der Sedimente nach Clarke und Washington nicht stimmen kann, wenn die der Eruptivgesteine richtig ist, kann man leicht sehen, wenn man für mehrere Elemente aus den Gleichungen (1) die Unbekannten E und S berechnet. Für die Elemente Na und K bekommt man Werte für E und S, die mit denen von Goldschmidt und den früher von Clarke ermittelten einigermaßen übereinstimmen, für Ca und Mg jedoch ganz unwahrscheinliche Werte. Goldschmidt ist — vermutlich aus diesem Grunde — anders vorgegangen. Er setzt in unserer Gleichung den Na-Gehalt der tonig-sandigen, d. h. der karbonatfreien Sedimente, mit 1% ein und benutzt als zweite Gleichung eine andere,

$$S' = 0{,}97\,E \qquad (2)$$

die er dadurch erhält, daß er den Materialverlust der tonig-sandigen Sedimente S' gegenüber den Eruptiven bei Ca, Mg, Na mit 8% und die Gewichtszunahme der Sedimente durch Wasseraufnahme mit 5% einsetzt. Der Gesamtverlust der tonig-sandigen Sedimente gegenüber den Eruptiven beträgt demnach 3%. Er errechnet auf diese Weise $E = 160$ kg/cm² und $S' = 155$ kg/cm². Dann setzt er in den tonig-sandigen Sedimenten die Werte für CaO mit 0,6% und für MgO mit 2,6% fest und berechnet, wieviel CaO und MgO aus den 160 kg Eruptivgesteinen noch zur Karbonatbildung übrigbleibt. Er erhält 12,553 kg/cm² $CaCO_3$ und 1,999 kg/cm² $MgCO_3$ und berechnet daraus 10,170 kg/cm² Kalk ($CaCO_3$) und 4,372 kg/cm² Dolomit ($CaMg[CO_3]_2$). Insgesamt stehen also 160 kg/cm² Eruptivgesteinen rund 170 kg/cm² Sedimente gegenüber (Tabelle 1). Das bedeutet eine Schichthöhe von 638 m Sediment auf der gesamten Erdoberfläche.

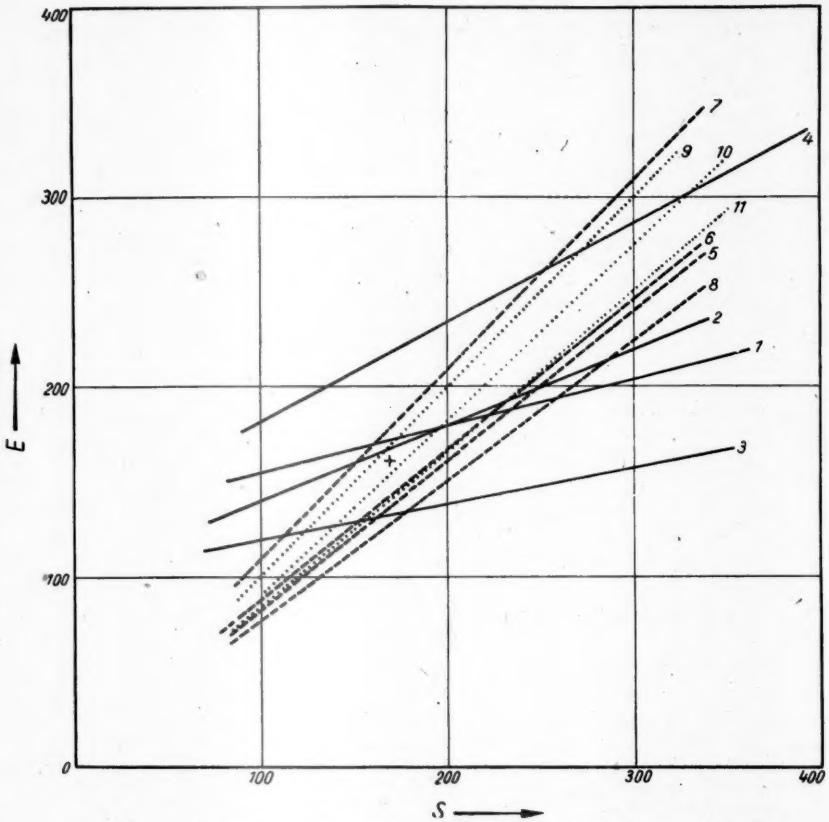

Fig. 1. Graphische Darstellung der Gleichung (1) mit Minimal- und Maximalwerten für Na (1—4) und K (5—8), sowie $S = 1\,E$ (9), $= 1{,}1\,E$ (10) und $= 1{,}2\,E$ (11). + Goldschmidts Werte für E und S der Gesamtsedimente.

Wie groß ist nun die Genauigkeit dieser Werte? Wir wollen zunächst die Angaben für Natrium betrachten. Der von Goldschmidt für die Magmatite angenommene Wert von Clarke und Washington von 2,83% ist schon recht hoch. Der Na-Gehalt beträgt im Durchschnitt von 546 Graniten nach Daly 2,58%. Als obere Grenze wird man etwa 3% annehmen dürfen, als untere etwa den Wert für Dalys Basaltdurchschnitt (198 Analysen) mit 2,3%. Der Na-Gehalt der Sedimente wird sicher über dem Durchschnitt von 0,56% für 371 Bau- und Bildsandsteine, den Clarke mitteilt, liegen. Als Höchstwert möchte ich den eines kambrischen Tons, den Pralow analysiert hat, mit 1,2% Na einsetzen. In diesen Grenzen dürften die Na-Gehalte der Magmatite und Sedimente liegen.

Nehmen wir zunächst an, daß alles Na des Ozeans aus der Verwitterung stammt, so können wir mit diesen Maximal- und Minimalwerten und den Werten (nach Kalle) von $M = 278{,}72$ kg/cm² und $m_{Na} = 1{,}075$ nach der Gleichung (1) für E und S als Unbekannte vier Kurven berechnen, die gerade Linien sind. Sie sind in der Fig. 1 eingetragen. Die beiden Kurven für hohe Na-Werte in den Magmatiten und Sedimenten (1) und für niedere (2) liegen nahe beieinander.

Tabelle 1.
Die Werte V. M. Goldschmidts für die bei der Verwitterung von 160 kg/cm² Eruptivgesteinen entstandenen Sedimente.

	Menge	Dichte	Mächtigkeit
Tonschiefer und Sandsteine	155 kg/cm²	2,65	585 m
Kalke	10,2 „	2,7	38 m
Dolomite	4,4 „	2,7	15* m
	169,6 kg/cm²		638 m

*) Bei Goldschmidt steht irrtümlich 16.

Die für hohen Na-Wert in den Eruptiven und niederen in den Sedimenten (3) liegen unter (1) und (2). Die unwahrscheinliche Annahme, daß niedriger Na-Wert in den Eruptiven einem hohen Wert in den Sedimenten entspricht, führt zu der Kurve (4).

Um nun die wahrscheinlichen Mengen von E und S zu ermitteln, können wir die entsprechenden Kurven für Kalium zeichnen. Die Angaben für K schwanken sowohl bei den Magmatiten als auch bei den Sedimenten viel stärker als für Na. V. M. Goldschmidt gibt nach Clarke und Washington 2,6%, in den Graniten Dalys sind 3,4%, in den Basalten 1,26%. Die Bausandsteine Clarkes enthalten etwa 1%, manche Tone, wie z. B. der von Schlünz analysierte Liaston von Dobbertin, 2,7. Es wurden zuweilen noch wesentlich höhere Werte beobachtet, die aber keine große Verbreitung haben und deshalb hier außer Betracht bleiben können (Glimmertone). Mit diesen Werten und $m_K = 0{,}039$ wurden die Kurven 5 und 6 gezeichnet. Wieder liegen die beiden Kurven mit den beiderseits hohen (5) und niederen Werten (6) nahe beieinander. Das bedeutet, daß es sehr wenig ausmacht, ob man ein Magma granitischer oder basaltischer Zusammensetzung annimmt, solange man daran festhält, daß einem relativ hohen e-Wert auch ein relativ hoher s-Wert gegenübersteht.

Die Kurven jedoch, die durch Kombination der hohen und niederen Werte entstehen, fallen weit auseinander. Da es sehr unwahrscheinlich ist, daß der K-Gehalt der Sedimente mehr als das Doppelte des Magmatitgehalts beträgt, wurde in Kurve 7 angenommen, daß der K-Gehalt der Sedimente ebenso hoch wie der der Magmatite sei. In Kurve 8 wurde die Annahme gemacht, daß dem maximalen K-Gehalt der Magmatite von 3,4% in den Sedimenten 2,5% entspräche. Man kann der Lage der beiden Kurven (7) und (8) entnehmen, in welcher Richtung sich die Lage ändert, wenn hohe mit niedrigen Werten kombiniert werden.

Wegen der Schwankungen der Angaben über den K-Gehalt erscheint es wünschenswert, noch ein anderes Kriterium für die Lage des Schnittpunktes mit den Na-Kurven heranzuziehen. Bei Elementen, die im Meerwasser nur in sehr geringer Menge vorkommen, kann das Glied Mm der Gleichung (1) vernachlässigt werden. Wir erhalten dann $\frac{E}{S} = \frac{s_x}{e_x}$. Das Verhältnis der zersetzten Eruptivgesteine zu den daraus gebildeten Sedimenten hatte Goldschmidt, wie oben erwähnt (Gleichung (2)), für die sandig-tonigen Sedimente mit $S' = 0{,}97\ E$ angegeben. Für die Gesamtsedimente, die also auch das von Goldschmidt abgezogene Ca und Mg, soweit es nicht im Meerwasser steckt, sowie das CO_3 der Karbonate enthalten, muß $S > E$ sein. Eine Abschätzung führt etwa zu $S = 1{,}1\ E$. In der Fig. 1 sind die Werte für $S = E$ (9), $S = 1{,}1\ E$ (10) und $S = 1{,}2\ E$ (11) eingetragen.

Betrachten wir nun die Schnittpunkte der Na-Kurven mit den K- und $\frac{E}{S}$ Kurven, so sehen wir, daß die wahrscheinlichsten Kurven Werte für E und S ergeben, die von der Größenordnung der Goldschmidtschen Werte sind. Nur die Schnittpunkte mit der unwahrscheinlichen Kurve (4) ergeben Mengen, die etwa das Doppelte ausmachen.

Wenn ein Teil des Natriums von Anfang an im Weltmeer gewesen wäre, also nicht aus der Verwitterung der Eruptivgesteine stammen würde, so würden die Natrium-Kurven sich nach unten bewegen, d. h. die Mengen für E und S würden geringer werden, ohne sich dabei größenordnungsmäßig zu ändern. Nun ist aber die Menge der Sedimente, so wie wir sie hier angenommen haben und wie sie in Tabelle 1 aufgeführt ist, schon reichlich niedrig, wenn man die beobachteten Sedimentmengen und auch den Gang der heutigen Sedimentation betrachtet. Wir werden im letzten Abschnitt auf diese Verhältnisse zurückkommen.

Alle diese Überlegungen führen zu dem Schluß, daß die Goldschmidtschen Werte für E und S ungefähr richtig sein müssen. Korrekturen an ihnen wurden nicht angebracht, weil sie bereits weitgehend eingebürgert sind und weil geringe Abweichungen für die folgenden Berechnungen, bei denen es vor allem auf das Verhältnis $E : S$ ankommt, praktisch nichts ausmachen. Zunächst wollen wir ansehen, wie sich einzelne Elemente bei der Verwitterung verhalten, und zwar wollen wir untersuchen, welcher Anteil des betreffenden Elements ins Meer gegangen ist. Die

Tabelle 2. *Verteilung der Elemente der Magmatite auf die Sedimente und das Meer.*

Element	Menge in den Magmatiten in kg/cm²	Von den Magmatiten in den Sedimenten in kg/cm²	Menge im Meerwasser kg/cm²	% des Magmatitgehalts im Meer
Na	4,55	1,55	3	66,2
K	4,16	4,05	0,11	2,6
Ca	5,81	5,69	0,12	2,1
Mg	3,36	3,00	0,36	10,7
Ba	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-6}$	0,0075
Sr	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$	$2{,}14 \cdot 10^{-2}$	$3{,}6 \cdot 10^{-3}$	15
Li	$1{,}04 \cdot 10^{-2}$	$1{,}037 \cdot 10^{-2}$	$3{,}3 \cdot 10^{-5}$	0,3
Rb	$5 \cdot 10^{-3}$	$4{,}94 \cdot 10^{-3}$	$5{,}6 \cdot 10^{-5}$	1,1
Cs	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$5{,}6 \cdot 10^{-7}$	0,035
Cl	$7{,}68 \cdot 10^{-3}$	—	0,53	6900
Br	$3{,}2 \cdot 10^{-5}$	—	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	56250
F	$1{,}28 \cdot 10^{-2}$	$1{,}24 \cdot 10^{-2}$	$3{,}9 \cdot 10^{-4}$	3
J	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$	—	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$	440
S	$8{,}32 \cdot 10^{-3}$	—	0,25	3005
B	$4{,}8 \cdot 10^{-5}$	—	$1{,}34 \cdot 10^{-2}$	2792
C	$5{,}1 \cdot 10^{-3}$	—	$8{,}5 \cdot 10^{-3}$	167

Zahlen für das Meer sind ja von allen geochemischen Daten die am genauesten bekannten, weil das Weltmeer ein gut durchgerührtes Wasserbecken ist. Auch hier ist es zweckmäßig, nicht mit Prozentgehalten, sondern mit umgesetzten Mengen, also mit kg/cm² Erdoberfläche zu rechnen, weil dann die Zahlen wirklich vergleichbar werden. So liefern 4,55 kg/cm² Natrium der Magmatite 3,000 kg/cm² im Meerwasser, das sind 66,2%. Der Rest 1,55 kg/cm² ist in die Sedimente gegangen. Die Zahlen für die Sedimente in der Tabelle 2 geben also nur an, wieviel aus den Eruptivgesteinen in die Sedimente geht, bei den Anionen, die nicht aus den Eruptiven stammen, ist deshalb kein Sedimentgehalt angegeben.

Betrachten wir zunächst die Kationen. Bei den Alkalien fällt auf, daß das Kalium nur zu einem sehr geringen Teil ins Meerwasser gebracht wird, trotzdem die Löslichkeit seiner Verbindungen etwa dieselbe ist wie die des Natriums. Einer der Gründe dafür dürfte sein, daß unter den Feldspäten die Natronfeldspäte weitaus überwiegen. Die Feldspäte werden

bei der Verwitterung besonders leicht zersetzt. Die Glimmer jedoch, die Kaliminerale sind, werden weniger leicht zerstört, sie können sich offenbar auch schon bei sehr niederen Temperaturen wieder neu bilden. Auf diese Weise kann man erklären, warum im Durchschnitt der magmatischen Gesteine das Verhältnis Na : K = 2,83 : 2,6 = 1,09 ist, während es im Durchschnitt der Flußwässer 5,79 : 2,12 = 2,7 beträgt, aber nicht, daß es im Meerwasser auf 1,075 : 0,039 = 27,6 ansteigt. Man pflegt dieses Verschwinden des Kaliums mit der Adsorption an Tonsubstanz zu erklären. Dann müßte das Kalium der Flußwässer zu etwa 90% adsorbiert werden, und diese Adsorption könnte erst beim Ausflocken der Flußtrübe im Meer vor sich gehen, da ja sonst das Flußwasser nicht so hohe K-Werte besitzen dürfte. Rechnen wir mit $5{,}7 \cdot 10^9$ t jährlichem Transport von suspendiertem Material in den Flüssen der Erde (Holmes 1927), so würde das bei $2{,}735 \cdot 10^9$ t gelöster Substanz mit 2,12% K (Clarke 1924) eine Adsorption von 0,9% K bedeuten. Nimmt man mit Salisbury (zitiert nach Twenhofel) $16 \cdot 10^9$ t Suspension an, so braucht nur 0,3 % Kalium durch Adsorption gebunden werden. In der Bodenkunde rechnet man für das Tonmineral Kaolinit mit einer Adsorption von 15 Milliäquivalent auf 100 g, für Glimmer mit 20 und für Montmorillonit mit bis zu 100. Das würde bedeuten, daß 0,59% K an Kaolinit, 0,78% K an Glimmer und bis zu 3,9% K an Montmorillonit adsorbiert sein können. Größenordnungsmäßig würde also eine solche Adsorption durchaus möglich sein. Warum sie allerdings erst beim Zusammentreffen mit der Natriumlösung des Meerwassers stattfindet, bleibt noch zu klären. Bekannt ist nur, daß K stärker als Na adsorbiert wird. Noch stärker werden Rubidium und Cäsium adsorbiert; sie sind deshalb anteilmäßig noch geringer im Meerwasser vertreten. Lithium ist im wesentlichen in die Glimmer eingebaut und gelangt wohl mit diesen ins Sediment.

Daß das Calzium im Meerwasser weniger stark vertreten ist als das Magnesium, rührt sicher daher, daß es durch die Organismen immer wieder aus dem Meerwasser entfernt wird, am Meeresboden reichert sich die kalkige Gerüstsubstanz der Organismen an. Auffällig ist der Unterschied zwischen Strontium und Barium. Ich möchte vermuten, daß sich hier der große Löslichkeitsunterschied der Sulfate bemerkbar macht. Vom Strontiumsulfat sind $11{,}4 \cdot 10^{-3}$ g in 100 cm³ löslich, vom Bariumsulfat nur $23 \cdot 10^{-5}$, beide bei 20° C. Der Gehalt des Meerwassers an Strontium beträgt mit $13 \cdot 10^{-4}$ g in 100 cm³ etwa den zehnten Teil der Löslichkeit, der an Barium mit $5 \cdot 10^{-6}$ g in 100 cm³ weniger als 1/40.

Fe, Al, Si werden fast ausschließlich nicht in Lösung, sondern in Form von — meist kolloidalen — Verwitterungsneubildungen transportiert und sind deshalb in der Tabelle weggelassen.

Von den Anionen des Meerwassers kann nur das Fluor aus den magmatischen Gesteinen hergeleitet werden, in denen es nach den neuen Untersuchungen von Barth, die durch unveröffentlichte Bestimmungen von Koritnig in Göttingen nach anderer Methode bestätigt werden, mit 0,08% vorhanden ist. Die anderen Anionen entstammen der Entgasung des Magmas und sind also in den erstarrten Produkten nur in geringen Mengen vertreten. Dabei mag ein Teil dieser Anionen einer sehr frühen Entgasung entstammen und schon von Anfang an im Ozean enthalten gewesen sein. Ein anderer Teil ist sicher durch spätere vulkanische Gase geliefert, wie solche ja auch heute noch dem Boden entströmen. So werden im Tal der zehntausend Dämpfe in Alaska auf einem Raum von 77 km² im Jahr produziert: $480 \cdot 10^6$ t H_2O, $1{,}25 \cdot 10^6$ t HCl, $0{,}2 \cdot 10^6$ t HF und $0{,}3 \cdot 10^6$ t H_2S. Das Fluor verhält sich anders als Chlor und Brom. Sein Ion wird zum Teil bei der Kristallisation des Magmas an Stelle des OH-Ions, mit dem es den gleichen Ionenradius hat, in Glimmer und Hornblenden eingebaut. Was an Fluor etwa als HF noch bei der Entgasung frei wird, wird an das häufige Element Ca als CaF_2 gebunden (Flußspatgänge!). Auch der Kohlenstoff entstammt nur zu einem kleinen Teil den magmatischen Gesteinen.

Tabelle 3. *Mittlere Zusammensetzung der magmatischen Gesteine nach Clarke und Goldschmidt und die neu berechnete der Sedimente.*

Magmatische Gesteine		Sedimente	
SiO_2	59,12	55,64	
Al_2O_3	15,34	14.44	
Fe_2O_3	3,08	6,87	
FeO	3,80		
MgO	3,49	2,93	
CaO	5,08	4,69	
Na_2O	3,82	1,21	
K_2O	3,13	2,87	
TiO_2	0,73	0,69	
P_2O_5	0,18	0,17	
MnO	0,124	0,12	
H_2O^+	1,15	3,50	aus Tabelle 4 nach Clarke
H_2O^-		2,04	
CO_2		3,86	
SO_3		0,32	
C		0,65	
	99,04	100,00	

Man kann nun noch einen Schritt weitergehen und nach der Formel (1) aus den konventionell als richtig angesehenen Mengenverhältnissen der Eruptivgesteine und den als richtig vorausgesetzten Mengen von $E = 160$ kg/cm² cm und $S = 170$ kg/cm² eine Durchschnittsanalyse der Sedimente berechnen. Das ist in der Tabelle 3 geschehen. Sie dürfte der wahren Zusammensetzung wesentlich näherkommen als die Clarkes. Nur für die Elemente C und S, die nicht aus den magmatischen Gesteinen stammen können, wurden die Clarkeschen Werte verwendet. H_2O und CO_2 ergaben sich aus der folgenden Berechnung der Sedimentminerale.

Tabelle 4. *Mineralzusammensetzung der Sedimente, berechnet aus der Durchschnittsanalyse.*

Mineral	%	% abgerundet
Quarz (SiO_2).	30,14	30
Feldspäte		9
Anorthit (Ca [$Al_2Si_2O_8$])	0,71	
Albit (Na [$AlSi_3O_8$])	5,51	
Orthoklas (K [$AlSi_3O_8$])	2,78	
Glimmer:		23
Muskowit, Illit usw. (KAl_2 $(OH)_2$ [$AlSi_3O_{10}$])	10,76	
Biotit, Glaukonit usw. ($K(Mg,Fe)_3$ $(OH)_2$ [$AlSi_3O_{10}$])	7,76	
Paragonit ($NaAl_2$ $(OH)_2$ [$AlSi_3O_{10}$])	4,58	
Kaolinit, Halloysit (Al_2 $(OH)_4$ [Si_2O_5])	12,03	12
Montmorillonit (Al_2 $(OH)_2$ [Si_4O_{10}])	5,37	5,5
Chlorit ($(Mg, Fe)_5$ $(OH)_8$ [Si_4O_{10}])	1,71	2
Kalkspat ($CaCO_3$)	5,99	6
Dolomit ($CaMg$ [CO_3]$_2$)	2,57	2,5
Fe_2O_3	5,44	5,5
H_2O	2,04	2
Rest:		2,5
TiO_2	0,69	
MnO	0,12	
Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	0,69	
Apatit (Ca_5 (OH) [PO_4]$_3$)	0,41	
Kohlenstoff (C)	0,65	
Summe:	99,95	100,00

Es wurden nämlich aus dieser Durchschnittszusammensetzung die Mineralzusammensetzungen der Sedimente berechnet (Tabelle 4). Eine solche Berechnung ist natürlich mit mannigfachen Unsicherheiten verknüpft. Zugrunde gelegt wurden die Erfahrungen, die wir durch die mikroskopischen und röntgenographischen Untersuchungen von Tonen und anderen feinkörnigen Sedimenten im Laufe der Jahre be-

kommen haben. Es wurden nur die Werte für Fe_2O_3 und MnO_2 gegeben, zum Teil werden statt dessen Hydroxyde vorkommen, wodurch sich der Wert für H_2O^- erniedrigen wird. Ein Teil des Mn mag in Silikaten und Karbonaten stecken. Auch der Kohlenstoff ist zum Teil als Kohlenwasserstoff vorhanden.

Besondere Schwierigkeiten bei der Berechnung macht die Unterbringung des Alkali, besonders des Natriums. Als Clarke seinerzeit aus seinem Sedimentdurchschnitt den Mineralbestand berechnete, hat er in den Tonen 30% Feldspat angenommen, ein Wert, der nach allen Untersuchungen sicher um mindestens das Dreifache zu groß ist. Von anderen stabilen Natronmineralen kommt nur Natronglimmer, Paragonit, in Frage. Es ist außerordentlich schwierig, in den sehr feinkörnigen Sedimenten die verschiedenen Glimmer zu unterscheiden und es muß vorläufig eine Arbeitshypothese bleiben, daß in den Sedimenten dieser Natronglimmer auftritt. Es ist aber, soweit ich sehen kann, die einzige einigermaßen plausible Erklärung für den zweifellos vorhandenen relativ hohen Natriumgehalt der tonig-klastischen Sedimente. Ein kleiner Teil des Natriums mag auch im Montmorillonit stecken. Man hat früher auch die Adsorption für solche Überschüsse verantwortlich machen wollen und es mag auch sein, daß ein Teil des Natriums der Sedimente adsorptiv als Ion gebunden ist, aber es kann sich nach allem, was wir über diese Vorgänge wissen und nach den Auslaugungsversuchen mit Wasser an Tonen, wie sie z. B. Schlünz angestellt hat, nur um geringe Mengen handeln. Als Beispiel sei der Tertiärton von Malliss, der mit 0,84% der Trockensubstanz relativ viel auswaschbare Elektrolyte enthält, angeführt. Schlünz fand 21,15% Na, also 0,18% des Trocken-Tons. Das ist sicher schon ein sehr hoher Wert.

Der Vergleich der mittleren Mineralzusammensetzung der Sedimente mit dem mittleren Mineralbestand der magmatischen Gesteine, wie ihn Clarke und Washington berechnet haben (Tabelle 5), ist nun recht lehrreich. Bei der Sedimentbildung haben außer den Verwitterungsneubildungen Quarz und Glimmer erheblich zugenommen. Man muß daraus schließen, daß diese beiden Minerale auch im Laufe der Verwitterung in größerer Menge neu entstehen. Die Kosten der Neubildung tragen die Feldspäte, Pyroxene und Hornblenden.

Tabelle 5. *Mineralbestand der magmatischen Gesteine, berechnet von Clarke und Washington.*

Quarz	12
Feldspäte	59,5
Pyroxene und Hornblenden	16,8
Glimmer	3,8
Akzessorien	7,9
	100,00

Derartige Berechnungen haben ihre Berechtigung nicht nur darin, daß sie uns einen Überblick über die Bilanz geben, die bei der Verwitterung herrscht, sie sind auch geeignet, den Blick wieder darauf zu lenken, daß bei der Umwandlung von Sedimenten nicht wieder magmatische Gesteine entstehen können, wie neuerdings manchmal angenommen wird. Es müssen den Sedimenten gewisse Elemente, wie z. B. Alkali und Magnesium, zugeführt werden, damit wieder magmatische Gesteine entstehen.

Zum Schluß möchte ich noch einmal auf die Frage zurückkommen, ob die Gesamtmenge der Sedimente mit 638 m nicht viel zu gering ist. Allein der mittlere Buntsandstein bei Göttingen besitzt etwa diese Mächtigkeit. Nimmt man den unteren Buntsandstein dazu, so sind es bereits 1500 m. Schuchert hat die maximale Mächtigkeit der Sedimente seit Beginn des Palaeozoikums zu 122 km errechnet. Dabei hat er von allen Schichten stets die größte Mächtigkeit genommen. Es ist ganz sicher, daß diese großen Mächtigkeiten jedesmal nur an wenigen und im Laufe der Zeit verschiedenen Stellen der Erde sedimentiert worden sind, während an anderen geringere Sedimentation oder Abtragung herrschte. Die aus der Bilanz errechnete Sedimentmenge würde, wenn sie mit der maximalen Sedimentmächtigkeit abgelagert würde, einen Raum von $2{,}6 \cdot 10^6$ km² einnehmen. Das ist immerhin ein Raum sechsmal so groß wie Deutschland. Weil nun geringere Sedimentation auch an anderer Stelle stattfindet, muß der Raum der maximalen Sedimentation wesentlich enger sein. Es fehlen leider Schätzungen über die durchschnittliche Gesamtmächtigkeit der Sedimente aus den Beobachtungen der geologischen Schichten. Solange dies nicht der Fall ist, wird man annehmen dürfen, daß die wechselnde Dicke der Schichten an den verschiedenen Orten die geringe Durchschnittsmenge der Sedimente der Bilanzmenge erklärt. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß die in früheren Zeiten wieder abgetragenen Sedimente in unserer Bilanz nicht erscheinen.

Aber auch, wenn man so die maximale Mächtigkeit in Übereinstimmung mit der errechneten Sedimentmenge bringen kann, so ergeben sich doch weitere Bedenken aus der Geschwindigkeit der heutigen Sedimentation, worauf schon Kuenen hingewiesen hat. Mein Mitarbeiter W. Schott hat an den Sedimenten des mittleren atlantischen Ozeans die in Tabelle 6 zusammengestellten Sedimentationsgeschwindigkeiten gefunden. Ich habe ihre Menge pro

Tabelle 6. *Berechnung der Sedimentmenge auf Grund der heutigen Tiefsee-sedimentationsgeschwindigkeit.*

	Globigerinenschlamm	Roter Ton	Blauschlick
Beobachtete mittl. Sedimentationsgeschwindigkeit cm pro Jahrtausend	1,2 cm	0,86	1,78
Mittl. Wassergehalt %	42	50	52,6
Volum % Ton + Kalk	34,7	27,27	25,74
Berechnete Sedimentationsgeschwindigkeit, wasserfrei, cm pro Jahrtausend	0.42	0,24	0,46
Areal cm²	$1{,}28 \cdot 10^{18}$	$1{,}33 \cdot 10^{18}$	$0{,}375 \cdot 10^{18}$
Volumen cm³ wasserfrei pro Jahrtausend	$0{,}54 \cdot 10^{18}$	$0{,}32 \cdot 10^{18}$	$0{,}1725 \cdot 10^{18}$
Volumen in 10^9 Jahren	$0{,}54 \cdot 10^{24}$	$0{,}32 \cdot 10^{24}$	$0{,}1725 \cdot 10^{24}$
auf die ganze Erde ($5{,}1 \cdot 10^{18}$ cm²) verteilt, Schichthöhe in cm	$1{,}06 \cdot 10^5$	$0{,}63 \cdot 10^5$	$0{,}34 \cdot 10^5$
Gesamtmächtigkeit in 10^9 Jahren in km	~ 2		

cm² Erdoberfläche auf wasserfrei berechnet unter der Annahme, daß diese Sedimentation 10^9 Jahre gedauert habe. Es zeigt sich, daß bei Komprimierung dieser Sedimente auf den völlig wasserfreien Zustand die Sedimentation allein der Tiefsee in 10^9 Jahren 2 km/cm² Erdoberfläche ausmacht. Da außerdem in der Flachsee schneller sedimentiert wird, wenn auch auf wesentlich geringerer Fläche, widerspricht dieses Ergebnis dem der Bilanzrechnung. Nimmt man schließlich die Menge Flußtrübe, die in der Jetztzeit von den Flüssen ins Meer gebracht wird, so gibt auch sie eine viel zu große Sedimentmächtigkeit. Salisbury (s. o.) nimmt den jährlichen Transport von Suspensionen auf der Gesamterde mit $16 \cdot 10^9$ t, Holmes mit $5{,}7 \cdot 10^9$ t an. Bereits der niedrigere Wert würde in 10^9 Jahren 1120 kg/cm², d. h. bei einer mittleren Dichte von 2,65 allein an sandigen und tonigen Sedimenten 4226 m ergeben. Dazu kämen noch die Sedi-

mente, die die Brandung liefert und die chemisch-biogenen Sedimente.

Sowohl diese Rechnung als auch die der Tiefseesedimentation lassen sich nicht durch eine örtlich wechselnde Sedimentmächtigkeit in Übereinstimmung mit der Bilanz bringen. Ich glaube, daß die Lösung des Widerspruchs darin liegt, daß wir heute in einer Zeit besonders starker Abtragung leben. Wir dürfen bei derartigen Rechnungen nicht aus der heutigen Zeit auf die Vergangenheit extrapolieren. Es hat sicher in der Erdgeschichte Perioden gegeben, in denen die Gesamtsedimentation wesentlich geringer war als heute. Daß heute eine größere Menge an Suspension verfrachtet wird, kann sowohl von den klimatischen als auch von den Gefällsverhältnissen abhängen. Es könnte, wenigstens zum Teil, auch darauf beruhen, daß im Laufe der Zeit immer mehr Sedimente abgetragen werden, die leichter mechanisch zerstört werden als die magmatischen Gesteine. Daß klimatische Änderungen eine Rolle gespielt haben, dafür sprechen die Zahlen der davon besonders abhängigen chemischen Sedimentation. Nimmt man nämlich den jährlichen Natriumtransport der Flußwässer nach Clarke und berechnet aus dem Na-Gehalt des Ozeans sein Alter, so erhält man etwa $9 \cdot 10^7$ Jahre.

$$\frac{\text{Na-Menge im Ozean}}{\text{Jährl. Na-Zufluß}} = \frac{14{,}1 \cdot 10^{15}}{1{,}58 \cdot 10^8} = 8{,}9 \cdot 10^7$$

Das ist sicherlich sehr viel zu wenig, denn es scheint nach allem, was wir aus den radioaktiven Zeitmessungen in der Erdgeschichte wissen, ganz unwahrscheinlich, daß der Ozean ein so geringes Alter hat. Man muß dabei das sogenannte zyklische Salz abziehen, das durch die Winde von den Wellenkämmen des Ozeans auf die Lande getragen und im Regen wieder den Flüssen zugeführt wird, und dessen Menge wir durch die Regenwasseranalysen einigermaßen abschätzen können. Die Beobachtungen (s. Kalle) ergeben im Mittel der Stationen, die über 50 km von der Küste entfernt liegen, etwa 1 mg Cl oder dem Meerwasser entsprechend 0,55 mg Na im Liter jährlich. Bei 67 cm mittlerer Niederschlagshöhe über $149 \cdot 10^{16} cm^2$ Festland ergibt sich, wenn alles Na durch die Flüsse wieder ins Meer zurücktransportiert würde, was sicher viel zu hoch gerechnet ist, eine Menge von $0{,}55 \cdot 10^8$ t Na im Jahr. Maximal würde durch diesen Abzug das Alter des Ozeans etwa verdreifacht.

Es scheint mir auch nicht angängig, wie es Holmes tut, die Gültigkeit der Natriumbestimmung der Flußwässer anzuzweifeln. Dafür liegen zu viele Analysen aus den verschiedensten Teilen der Welt vor, und außerdem müßte dann der Cl- und SO_4-Gehalt der Flußwässer, der ja analytisch wesentlich genauer zu bestimmen ist als der der Alkalien, auch falsch sein. Ich glaube vielmehr, daß sich auch hier dieselbe Erscheinung geltend macht wie bei der mechanischen Sedimentation, daß heute die chemische Verwitterung wesentlich stärker ist als im Durchschnitt der Vergangenheit. Ein Natriumgehalt der Meere, der nicht aus der Verwitterung stammt, würde das Alter des Ozeans noch mehr herabdrücken. Es ist deswegen nicht wahrscheinlich, daß er in irgendwie beträchtlichem Maße vorhanden war.

Die Bilanzrechnung nach Gleichung (1) hat den Vorteil, daß sie unabhängig von irgendwelchen Änderungen der Verwitterung und der Abtragung in der Vergangenheit ist. Sie gibt nur die Gesamtbilanz. Berücksichtigt man alle Umstände, so wird man annehmen dürfen, daß sie größenordnungsmäßig richtig ist und damit die aus ihr hergeleitete Durchschnittszusammensetzung der Sedimente und die daraus abgeleiteten Schlüsse. Sie zeigt durch den Vergleich mit den heutigen Sedimentationsgeschwindigkeiten auf, daß wir heute in einer Zeit besonders starker Sedimentation leben.

Eingegangen am 5. Juni 1948.

Literatur.

Barth, Tom. F. W., On the Geochemical Cycle of Fluorine. The Journal of Geology, Vol. LV., Nr. 5 (1947). — Clarke, Fr. W., The Data on Geochemistry. U. S. Geol. Surv. Bull. 770 (1924). — Clarke, Fr. W. und Washington, H. St.: The Composition of the Earth's Crust. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 127. — Daly, R. A.: Igneous Rocks and the Depths of the Earth. New York (1933). — Goldschmidt, V. M., Grundlagen der quantitativen Geochemie. Fortschr. d. Min. usw. **17**, 112 (1933). — Holmes, A., The Age of the Earth. New York und London (1927). — Kalle, K., Der Stoffhaushalt des Meeres. Leipzig (1943). — Kuenen, Ph. H., Geochemistry and the total Amount of Sediments. Kon. Nederl. Ak. Wetensch. Amsterdam. — Pralow, W., Mikroskopische, röntgenographische und chemische Untersuchung einiger Proben des estländischen Blauen Tons. Chemie der Erde 11 (1938). — Schott, W., Die Foraminiferen im äquatorialen Teil des Atlantischen Ozeans. Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor" 1925 — 1927, Band III, Teil 3 II. Berlin-Leipzig (1934). — Schlünz, F. K., Über den Elektrolytgehalt zweier Tone. Chemie der Erde 8 (1933). — Eine mikroskopische, röntgenographische und chemische Untersuchung des Liastons von Dobbertin. Chemie der Erde 10 (1935). — Schuchert, Ch., Geochronology, or the Age of the Earth on the Basis of Sediments and Life. Bull. Nat. Res. Counc. Physics of the Earth. VI, (1931). — Twenhofel, W. H., Treatise on Sedimentation, 2. Ed. Baltimore (1932).

Gelöste und ungelöste Rätsel der Bienensprache.

Von K. v. Frisch (Graz).

Daß sich die Bienen Nachrichten übermitteln können, darüber besteht seit langer Zeit unter den Bienenkundigen kein Zweifel. Es wird diese Fähigkeit besonders augenfällig, wenn die Entdeckerin einer günstigen Honigquelle nach kurzer Zeit einen Massenbesuch derselben herbeiführt. In Imkerkreisen und bei manchen Bienenforschern erhält sich immer noch der Glaube an eine „Lautsprache". Doch ist die Meinung, daß diese Insekten ihr verschiedenartiges Summen hören und nach der Tonhöhe unterscheiden können, durch nichts begründet und neuerdings auch durch die schönen Untersuchungen von Hansson (1945) widerlegt. Ihre „Sprache" ist von anderer Art. *Tänze* auf den Waben verkünden den Stockgenossen das Bestehen einer ergiebigen Futterquelle, wobei der spezifische Duft der besuchten Blüten, der dem Körper der Tänzerin und dem ausgewürgten Nektar erkennbar anhaftet, die verständigten Bienen eindeutig auf die Blumensorte hinweist, die beflogen werden soll. Eine Duftdrüse am Hinterleib der Arbeitsbiene wird beim Anflug an die Futterquelle ausgestülpt und leitet durch ihren hochwirksamen Lockduft Stockgenossen, die in der Nähe suchen, an die rechte Stelle. Überdies geben die Tänze auf der Wabe, wie Beobachtungen der letzten Jahre gezeigt haben, den Kameraden im Heimatstock *Weisungen, in welcher Entfernung und in welcher Richtung das Futter zu finden ist*[1]). Diese Entdeckung hat weitere Überraschungen zur Folge gehabt und Probleme aufgerollt, an die wohl niemand gedacht hat.

[1]) Vgl. v. Frisch (3), (4), (6), (7).

Wir sind mitten in der Arbeit. Wenn ich, einem Wunsch der Schriftleitung entsprechend, den Stand der Fragen darlege, so will ich diesen Aufsatz nicht mit Belegmaterial belasten. Dessen ausführliche Wiedergabe bleibt einem späteren Zeitpunkt vorbehalten.

I. Die Tänze bei normaler Wabenstellung.

1. Die Entfernungsweisung.

Wir bieten an einem künstlichen Futterplatz einigen numerierten Bienen[2]) aus einem Glasschälchen Zuckerwasser. Das Schälchen steht auf einer mit Filtrierpapier überkleideten Kartonplatte, etwa 15/15 cm, die durch wenige Tropfen eines ätherischen Öles (z. B. Lavendelöl) einen spezifischen Duft erhält („*Duftplatte*"). Die sammelnden Bienen tanzen daheim und schicken ihre Kameraden aus. Diese suchen draußen nach dem Lavendelduft, den sie an den Tänzerinnen wahrgenommen haben. Um zu erfahren, ob sie sich hierbei an einem bestimmten Ort der Umgebung zahlreich oder spärlich einfinden, legen wir daselbst eine Lavendel-Duftplatte (ohne Futter) auf den Boden. Ein Beobachter verzeichnet etwa 1 Stunde lang jede anfliegende Biene. Entsprechende Duftplatten werden gleichzeitig an anderen Stellen beobachtet. Die Beflugzahlen geben ein Bild von der Verteilung der suchenden Bienen in der Umgebung des Stockes.

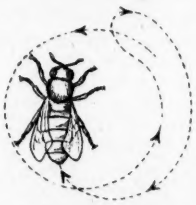

Fig. 1. Der Rundtanz.

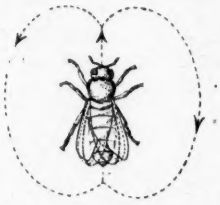

Fig. 2. Der Schwänzeltanz.

Befindet sich der Futterplatz 10 m vom Heimatstock, so werden Duftplatten in der Nähe des Stockes sehr bald und zahlreich beflogen, während einige hundert Meter entfernt die Besucher auf sich warten lassen und vereinzelt bleiben. Liegt aber der Futterplatz in einem Abstand von etwa 300 m, so stellen sich nun an dort ausgelegten Duftplatten die suchenden Neulinge sehr rasch und zahlreich ein, während in Stocknähe verhältnismäßig wenig Anflüge zu verzeichnen sind.

Ein Blick in den Beobachtungsstock lehrt, daß die Bienen für einen nahen und für einen fernen Futterplatz zwei deutlich verschiedene Ausdrucksformen haben. *Nahsammler* machen *Rundtänze*. Hierbei trippeln sie im Kreise, abwechselnd rechts herum und links herum, wobei sie, anscheinend in regellosem

[2]) Zur Technik des Numerierens und für weitere methodische Einzelheiten vgl. v. Frisch (2), (3).

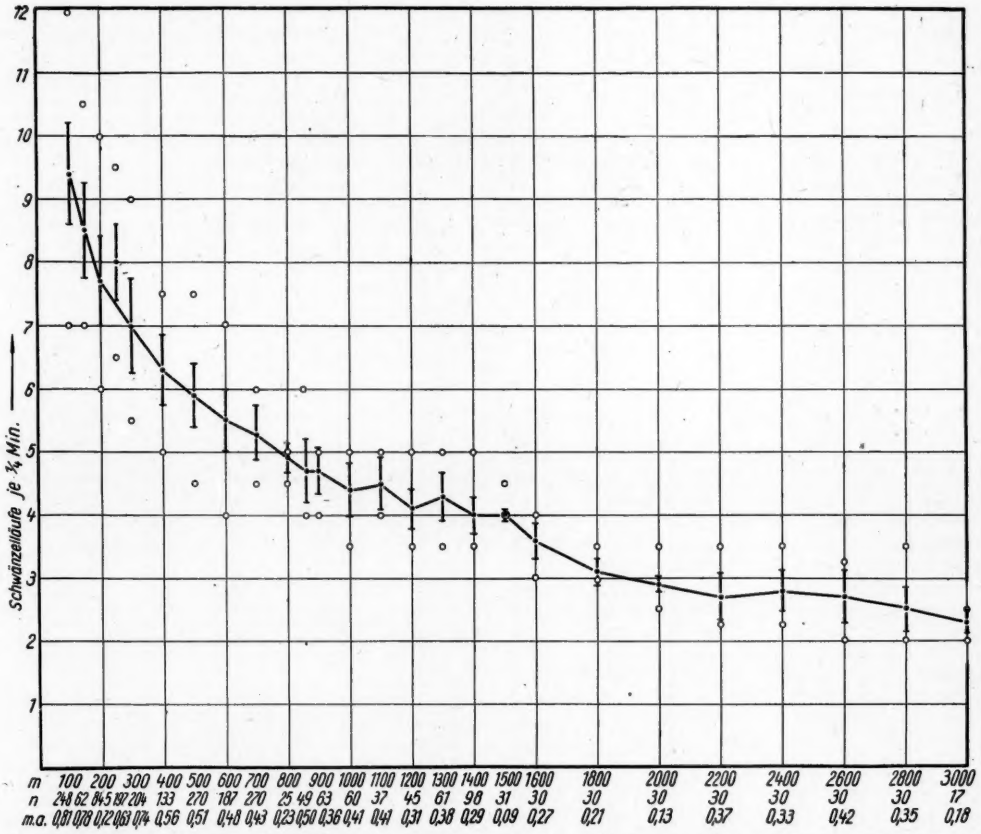

Fig. 3. *Entfernungsweisung durch den Tanzrhythmus.* Auf der Abscisse ist die Entfernung des Futterplatzes vom Bienenstock, auf der Ordinate die Zahl der Schwänzelläufe je ¼ Minute aufgetragen. Die Kurve verbindet die *Mittelwerte*, denen insgesamt 3112 Beobachtungen an 9 Völkern aus 3 Jahren zugrunde liegen. Die Querstriche der Kurve geben die *Streuung* (mittlere Abweichung), die Ringe die *äußersten beobachteten Abweichungen* an. Unter der Abscisse *m* = Entfernung des Futterplatzes in m, *n* = Zahl der beobachteten Tänze, *m.A.* = mittlere Abweichung.

Wechsel, manchmal nur einen Teil des Kreisbogens, manchmal 1—3 volle Kreise in derselben Richtung durchlaufen (Fig. 1). *Fernsammler* machen *Schwänzeltänze*. Hierbei laufen sie im Halbkreis, dann geradlinig und mit lebhaften Schwänzelbewegungen des Hinterleibes zum Ausgangspunkt zurück, einen Halbkreis nach der anderen Seite, wieder im geradlinigen Schwänzellauf zurück usw. (Fig. 2)[3]. Rundtänze beobachtet man bei Entfernungen unter 100 m, Schwänzeltänze dagegen, wenn die Sammelstelle 100 m oder weiter vom Stock entfernt liegt. Der Übergang der einen Tanzform in die andere soll später besprochen werden.

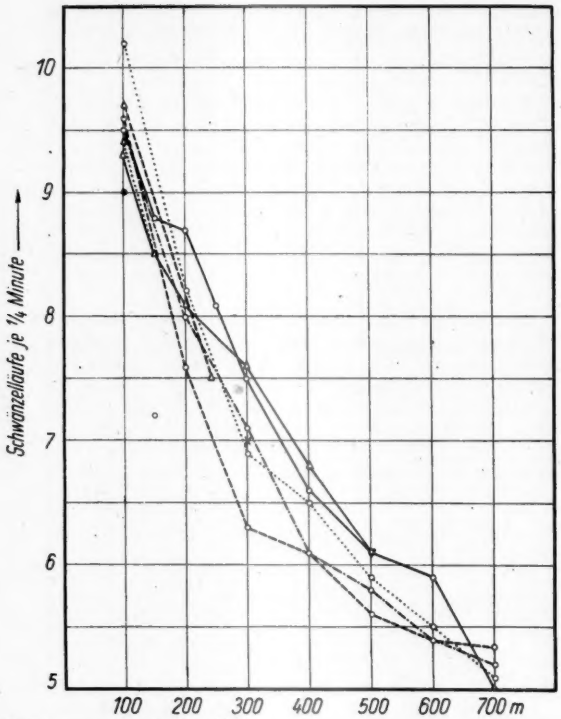

Fig. 4. Der *Tanzrhythmus der 9 Beobachtungsvölker* getrennt dargestellt für die Entfernungen 100—700 m. Unter der Abscisse ist zu jedem Kurvenpunkt die Zahl der Beobachtungen angegeben. Vom Nußbaumvolk 1946 und Kegelbahnvolk 1947 liegen Beobachtungen nur für je *eine* Entfernung vor. Bei Volk Aich 1947 ist der herausfallende Wert bei 150 m nicht in die Kurve einbezogen, weil ihm nur 3 Beobachtungen zugrunde liegen.

Die Sammelflüge der Bienen erstrecken sich in der Regel auf einen Umkreis des Heimatstockes mit einem Radius von 2 bis 3 km. Die Vermutung, daß die Tanzweise auch über die 100-m-Grenze hinaus genauere Entfernungsangaben vermittelt, bestätigt sich, wenn man den Futterplatz stufenweise immer weiter weg verlegt bis an die Grenze des Flugkreises. Mit zunehmender Entfernung ändert sich der *Rhythmus des Schwänzeltanzes* in dem Sinne, daß die Zahl der Wendungen — und hiermit auch die Zahl der geradlinigen Schwänzelläufe — in der Zeiteinheit abnimmt, während die geradlinige Wegstrecke etwas verlängert und die Zahl der Schwänzelbewegungen vermehrt wird. Die Runden folgen langsamer aufeinander, der Schwänzellauf beherrscht immer nachdrücklicher das Bild. Ich habe in besonders darauf angelegten Versuchen, wie auch bei anderen Gelegenheiten, immer wieder die Zahl der Schwänzelläufe an Bienen, die von Futterplätzen in bekannter Entfernung heimkehrten, mit der Stopuhr festgestellt. Das Ergebnis der 3112 Einzelbeobachtungen bringt Fig. 3. Auf der Abscisse ist die Entfernung des Futterplatzes vom Heimatstock, auf der Ordinate die Zahl der Schwänzelläufe je ¼ Minute aufgetragen[4]). Die Kurve verbindet die Mittelwerte aus sämtlichen Beobachtungen[5]). Bei jedem Punkt der Kurve ist überdies die Streuung (mittlere Abweichung) und, durch kleine Ringe, die äußerste beobachtete Abweichung angegeben. Die Kurve zeigt in ihrem Anfangsteil einen sehr stetigen Verlauf. Daß sie weiterhin weniger ausgeglichen ist, hängt mit der geringeren Zahl der Beobachtungen zusammen (vgl. *n*, unter der Abscisse). An Futterplätzen, die 800 m und weiter entfernt waren, habe ich bisher nur zwei Beobachtungsreihen, von denen die eine bis 1500 m, die andere bis 3000 m geführt wurde.

Das Beobachtungsmaterial der Kurve stammt von 9 verschiedenen Bienenvölkern und aus 3 verschiedenen Jahren. Man muß sich daher eher über die Einheitlichkeit der Werte wundern als über ihre Schwankungen. Letztere beruhen nicht nur auf einer individuellen Variation, sondern es zeigen ganze Völker die Neigung zu einem etwas schnelleren oder

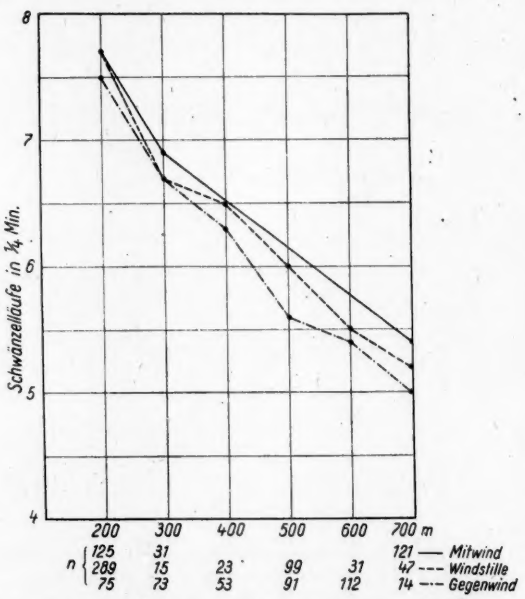

Fig. 5. Der Tanzrhythmus bei Windstille, Mitwind und Gegenwind (für die vom Stock zum Futterplatz fliegende Biene).

[3]) 1923 habe ich den Schwänzeltanz als den Tanz der Pollensammler beschrieben. Dieser Irrtum war dadurch bedingt, daß ich den Futterplatz für die Nektar- und Zuckerwassersammler stets in unmittelbarer Nähe des Stockes eingerichtet hatte, und daher bei ihnen nur Rundtänze sah, während die von mir beobachteten Pollensammler aus größerer Entfernung kamen und deshalb Schwänzeltänze machten (vgl. v. Frisch (7), S. 3, 4).

[4]) Die Zahl der Wendungen (= Zahl der Schwänzelläufe) je ¼ Minute wurde auf ½ Wendung genau, bei Entfernungen von 2000 m und darüber auf ¼ Wendung genau in den Protokollen verzeichnet.

[5]) Der herausfallende Wert für die Entfernung 250 m blieb beim Ausziehen der Kurve unberücksichtigt. Die Beobachtungen für diesen Abstand stammen fast alle von *einem* Volk mit ungewöhnlich raschem Tanzrhythmus (Kegelbahnvolk 1945, vgl. Fig. 4).

langsameren Tanztempo (vgl. Fig. 4). Überdies scheint die *Windrichtung* von Einfluß zu sein. Ich habe alle Versuche aus den 3 Jahren, bei welchen die Windverhältnisse vermerkt waren, in 3 Gruppen geordnet: 1. Versuche bei Windstille, 2. bei Gegenwind, 3. bei Mitwind für die vom Stock zum Futterplatz fliegenden Bienen. Die getrennt berechneten Mittelwerte ergeben das in Fig. 5 dargestellte Bild. Bei Mitwind ist der Tanzrhythmus schneller als bei Gegenwind; die Kurve für Windstille hält die Mitte[6]). *Gegenwind beim Anflug zum Futterplatz wirkt demnach wie Vergrößerung der Entfernung.* Daraus kann man entnehmen, daß für die Entfernungsangabe der *Hinflug* zur Futterquelle maßgebend ist, und daß sich die von der Tänzerin übermittelte Nachricht — biologisch durchaus sinnvoll — eher *auf den zum Erreichen des Zieles nötigen Zeit- oder Kraftaufwand* bezieht, als auf die tatsächlich gegebene Entfernung.

Bei Abständen unter 100 m besteht keine feste Beziehung zwischen der Zahl der Wendungen und der gegebenen Entfernung des Futterplatzes. Die Zahl der Wendungen ist bei 50 m im Durchschnitt sogar geringer als bei 100 m. Das hängt damit zusammen, daß beim *Rundtanz* oft 2—3 volle Kreise durchlaufen werden, bevor die Richtung gewechselt wird, was natürlich eine Verminderung der Zahl der Wendungen in der Zeiteinheit bedeutet.

Der Rundtanz enthält also keine genauere Entfernungsweisung als die, die Umgebung bis zu einem Umkreis von etwa 100 m abzusuchen.

Die Frage, *ob die Entfernungsweisung von den Stockgenossen verstanden und beachtet wird*, wird durch einen Versuch in positivem Sinne beantwortet, den ich schon 1946 (6) mitgeteilt und seither mit gleichem Ergebnis wiederholt habe: Aus einem Beobachtungsstock wurde eine Bienenschar zum Besuch einer nahen, eine zweite Schar zum Besuch einer fernen Futterquelle veranlaßt. Nach längerer Futterpause an beiden Plätzen sitzen die meisten Sammlerinnen untätig im Stock. Wurde nun am nahen Platz erneut Futter geboten, so sprachen auf die *Rundtänze* der Heimkehrer vor allem die *Nahsammler* an, während bei Füllung des fernen Futterschälchens durch die *Schwänzeltänze* der von dort kommenden Bienen in erster Linie die *Fernsammler* zum erneuten Aufsuchen ihres Futterplatzes veranlaßt wurden.

[6]) In Tabelle 1 sind die Mittelwerte zusammengestellt, die den Kurven der Fig. 5 zugrunde liegen; die Zahl der beobachteten Tänze ist jeweils in Klammer beigefügt; aus einer variationsstatistischen Berechnung geht hervor, daß D/m_D (die Differenz der Werte dividiert durch den mittleren Fehler der Differenz) in drei Fällen einen Wert größer als 3, in zwei Fällen einen Wert von rund 2 ergibt, was statistische Sicherheit bzw. eine Wahrscheinlichkeit von rund 97% bedeutet (Tab. 1). Es handelt sich demnach nicht um zufällige Differenzen. Der Befund ist aber aus Beobachtungen, die anderen Zwecken dienten, nachträglich erhoben. Zur weiteren Klärung sind eigens auf diese Frage gerichtete Versuche nötig, mit denen bereits begonnen wurde.

Tabelle 1. *Entfernungsanzeige (Mittelwert für die Zahl der Schwänzelläufe je 1/4 Min.) bei verschiedenen Windverhältnissen (vergl. Fig. 5) und Ergebnis der variationsstatistischen Auswertung. In Klammer beigefügt: die Anzahl der Beobachtungen.*

Entfern. d. F. Pl.	200	300	400	500	600	700 m
Windstille	7,7 (289)	6,7 (15)	6,5 (23)	6,0 (99)	5,5 (31)	5,2 (47)
Gegenwind	7,5 (75)	6,7 (73)	6,3 (53)	5,6 (91)	5,4 (112)	5,0 (14)
Mitwind	7,7 (125)	6,9 (31)	— —	— —	— —	5,4 (121)
D/m_D Windst./Gegenwind	1,97	—	0,32	4,83	1,69	1,43
Windst./Mitw.	—	1,08	—	—	—	3,16
Mitw./Gegenw.	1,72	2,00	—	—	—	3,37

Eine Beachtung der Entfernungsweisung ergibt sich auch aus der Tatsache, daß die ausschwärmenden Neulinge auf Rundtänze hin hauptsächlich in der näheren Umgebung des Stockes, auf Schwänzeltänze hin überwiegend in größerer Entfernung suchen. *Wie genau* sie sich bei entfernteren Weideplätzen an die durch den Tanzrhythmus gegebene Entfernungsweisung halten, soll durch Versuche geklärt werden, die erst im Beginn und noch nicht spruchreif sind.

2. *Die Richtungsweisung.*

Legt man 200 m östlich vom Bienenstock einen Futterplatz an, so bevorzugen die von den Tänzerinnen alarmierten Stockgenossen bei ihren Suchflügen sehr auffällig die östliche Richtung. Es wird ihnen durch den Schwänzeltanz nicht nur die Entfernung der Futterquelle mitgeteilt, sondern auch die Richtung, in der sie zu finden ist. Diese Mitteilung liegt in der *Richtung des geradlinigen Schwänzellaufes*. Die Biene benützt hierbei als Bezugspunkt den jeweiligen Sonnenstand und transponiert beim Tanz auf der lotrechten Wabenfläche den Winkel, der beim Flug an die Futterquelle zur Sonnenrichtung einzuhalten ist, auf die Richtung zur Schwerkraft. Der Schlüssel, nach dem dies geschieht, wird durch Fig. 6 a—d schematisch veranschaulicht. Liegt der Futterplatz in der Richtung des derzeitigen Sonnenstandes, so legt die tanzende Biene den geradlinigen Schwänzellauf genau nach oben. Liegt der Futterplatz um 60° nach links von der (auf die Erdoberfläche projizierten) Sonnenrichtung, so läuft die schwänzelnde Biene um 60° nach links von der Richtung nach oben. Geht die Flugrichtung zum Futterplatz 120° nach rechts von der Sonnenrichtung, so schwänzelt sie um 120° nach rechts von der Richtung nach oben. Liegt der Futterplatz genau der Sonne entgegen, so tanzt sie den Schwänzellauf kopfunten. Es erscheint dem nüchternen Beobachter als eine wahrhaft wunderbare Leistung des „Bienengeistes", daß er die singuläre Richtung „zur Sonne hin" durch die singuläre Richtung „nach oben" zum Ausdruck bringt und jede andere Richtung darauf bezieht.

Als Beispiel bringe ich 5 Versuche vom 5. 8. 1946 (Tabelle 2). Der Futterplatz lag vom Stock aus 14° westlich von Nord in einem Abstand von 130 m. Man findet in der Tabelle verzeichnet die *mittlere Beobachtungszeit*[7]) für jeden (etwa 10—15 Minuten dauernden) Versuch, das *Azimut der Sonne*[7]) für die mittlere Beobachtungszeit, den *Sonnenwinkel*[7]) für diesen Zeitpunkt, den *Tanzwinkel*[7]) (Mittelwert aus *n* Beobachtungen), die Abweichung zwischen Tanzwinkel und Sonnenwinkel („*Fehler*"), und, unter *n*, die *Zahl der beobachteten Tänze*. Anschaulicher als die Ziffern der Tabelle stellt Fig. 7 das Ergebnis dar. Das Rechteck bezeichnet die Lage des Bienenstockes, das Sternchen den Sonnenstand zur Zeit des Versuches, der ausgezogene Pfeil die Richtung zum Futterplatz, der punktierte Pfeil die von den Tänzerinnen gewiesene Richtung, wie sie sich als Mittelwert aus meinen Beobachtungen nach dem Schlüssel der Fig. 6 ergibt.

[7]) Die *mittlere Beobachtungszeit* ist das arithmetische Mittel der Zeit von Beginn und Ende der Beobachtung. Das *Azimut* der Sonne ist der Winkel zwischen der Himmelsrichtung, in der die Sonne steht, und der *Nord*richtung; oder, anders ausgedrückt, der am Horizont gemessene Bogen zwischen dem Höhenkreis des Sonnenstandes und dem Meridian des Beobachtungsortes. Die Azimute werden in der vorliegenden Arbeit von Nord über Ost, Süd und West von 1 bis 359° fortlaufend gezählt. Herrn Prof. Schütte (München) und Herrn Dr. Müller (Graz) bin ich für die Berechnung der Azimute zu großem Dank verpflichtet.— Unter dem *Sonnenwinkel* verstehe ich den Winkel zwischen der Himmelsrichtung des Sonnenstandes und der Richtung vom Stock zum Futterplatz; der Astronom würde sagen: die Differenz zwischen dem Azimut der Sonne und dem Azimut des Futterplatzes. Ein Sonnenwinkel 10° l. bzw. 10° r. bedeutet, daß der Futterplatz 10° links bzw. rechts vom Sonnenstand liegt. — Unter dem *Tanzwinkel* verstehe ich den Winkel, den die tanzende Biene beim Schwänzellauf zur Richtung nach oben einhält.

Einige *Bemerkungen zur Technik* sind hier am Platze: Den Tanzwinkel habe ich nach einem Linienraster geschätzt, den ich auf der Glasplatte vor den tanzenden Bienen angebracht hatte; die Linien waren in verschiedenen Farben horizontal und vertikal sowie unter 30° und 60° nach beiden Seiten geneigt ausgezogen. Seit 1947 benütze ich einen Winkelmesser mit lotrechtem Pendel, doch glaube ich, daß auch die Schätzungen nach der alten Methode ziemlich genau waren. Den Sonnenstand habe ich ausnahmslos erst nach Abschluß des Versuches nachgesehen, so daß die Feststellung des Tanzwinkels nicht durch Wünsche beeinflußt sein konnte.

Daß die Richtung des Schwänzellaufes nach dem linken Halbbogen und nach dem rechten Halbbogen genau dieselbe ist, wie es Fig. 2 schematisch zeigt, trifft nur manchmal zu. In der Regel läuft die Biene den Halbkreis nicht ganz aus, so daß die Laufstrecken nach dem linken und rechten Halbkreis miteinander einen Winkel bilden (Fig. 8b). In diesem Falle wurde die Richtung der den Winkel halbierenden Linie als maßgebend für die Richtungsweisung angenommen.

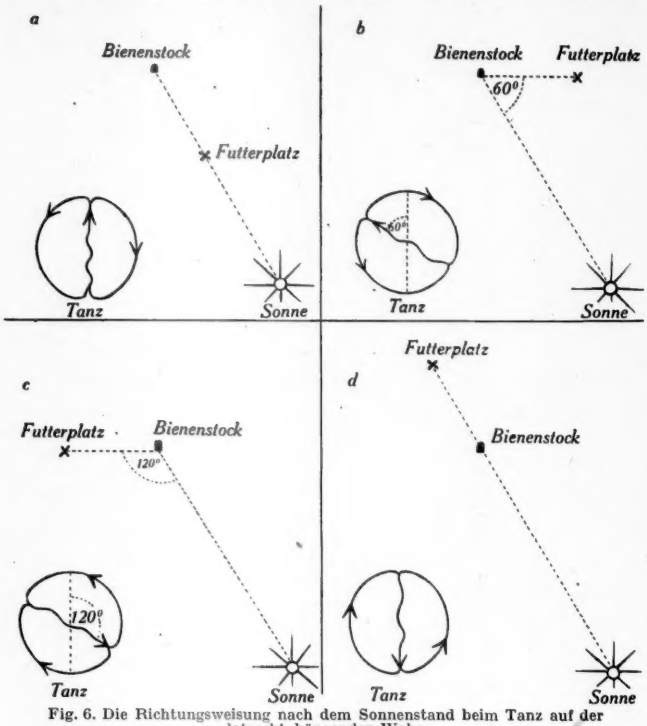

Fig. 6. Die Richtungsweisung nach dem Sonnenstand beim Tanz auf der lotrecht hängenden Wabe.

Fig. 7. Fünf Versuche über *Richtungsweisung*, 5. 8. 1946. Das Rechteck bezeichnet die Lage des Beobachtungsstockes, das * den Sonnenstand, der ausgezogene Pfeil die Richtung zum Futterplatz, der punktierte Pfeil die von den Bienen gewiesene Richtung (nach dem Schlüssel der Fig. 6).

Tabelle 2. *Versuche über die Richtungsweisung am 5. 8. 1946, „Nußbaumvolk", am Bach in Brunnwinkl. Nähere Erklärung im Text.*

Vers. Nr.	MEZ.	Sonnenazimut	Sonnenwinkel	Tanzwinkel	Fehler	*n*
129	9.15	115°	129° l.	139° l.	10°	8
132	10.37	139°	153° l.	152° l.	1°	16
133	11.13	153°	167° l.	166° l.	1°	12
135	13.42	219°	127° *r.*	136° *r.*	9°	13
138	14.40	237°	109° *r.*	110° *r.*	1°	18

Wenn der Futterplatz 10 m vom Stock entfernt lag, sah ich stets nur Rundtänze ohne jede Andeutung einer Richtungsweisung[8]). Bei einem Abstand von 25 m sind neben reinen Rundtänzen oft auch Laufkurven in Gestalt einer 8 zu bemerken (Fig. 8a), wobei nicht selten an der Kreuzungsstelle der Spur ein kurzes, richtungweisendes Schwänzeln zu erkennen ist. Das wird bei einem Abstand von 50 m häufiger und klarer. Liegt der Futterplatz 100 m vom Stock, so ist fast bei allen Tänzerinnen ein kurzer Schwänzellauf deutlich. Mit der Verlängerung seiner geradlinigen Laufstrecke bei weiter zunehmender Entfernung werden aus den zwei Kreisbögen, welche die Laufstrecke der 8 bildeten, die zwei Halbkreise des typischen Schwänzeltanzes (Fig. 2). Die

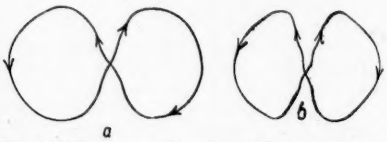

Fig. 8. a) Tanzkurve mit ersten Andeutungen des richtungsweisenden Schwänzellaufes, bei einem Abstand des Futterplatzes von 25 m.
b) Laufkurve beim Schwänzeltanz mit Divergenzwinkel.

anfänglich starke Divergenz der beiden Schwänzelstrecken (Fig. 8b) nimmt im allgemeinen, mit starker individueller Variation, bei wachsender Entfernung ab. In Tabelle 3 findet man aus den vorliegenden Beobachtungen für die Entfernungen des Futterplatzes von 100 bis 500 m die Mittelwerte berechnet.

Es ist aber nicht so, daß eine starke Divergenz der abwechselnden Schwänzelstrecken eine unscharfe Richtungsweisung bedeutet. Vielmehr zeigt die Linie, die den Divergenzwinkel halbiert, die Richtung zum Futterplatz angenähert ebenso genau wie bei fehlender Divergenz der einheitliche, geradlinige Schwänzellauf.

Wie bei der Entfernungsweisung, so möchten wir natürlich auch bei der Richtungsweisung erfah-

[8]) Diese Erfahrung darf aber nicht verallgemeinert werden. F. Baltzer und P. Tschumi beobachteten in Bern schon bei einem Abstand des Futterplatzes von nur 3 bis 17 m Rundtänze, die (ohne Schwänzeln) teilweise *gerichtet* waren. In der Mehrzahl der Fälle waren die Laufkurven nicht zu vollen Kreisen geschlossen, sondern hatten die Form von verschieden tiefen Sicheln. Diese sind nun nach den Schweizer Beobachtungen in bestimmter Weise orientiert: Zieht man von der Mitte des Sichelbauches durch die Mitte der Sichelöffnung einen Pfeil, der die Sichel in zwei symmetrische Hälften teilt (Fig. 9), so weist dieser Pfeil die Richtung zum Futterplatz nach dem gleichen Schlüssel, wie der geradlinige Lauf im Schwänzeltanz. Die Protokolle, die mir F. Baltzer (mit der Erlaubnis, davon Gebrauch zu machen) in Abschrift übermittelt hat, sind überzeugend. Ich konnte aber an meinen Bienen auch in neuerlichen Versuchen keine orientierten „Sicheltänze" feststellen. Sie liefen geschlossene Kreise oder offene Kreisbogen mit wechselnder Öffnungsrichtung. Baltzer und Tschumi arbeiteten mit der dunkelbraunen Schweizer Landbiene *(Apis mellifica mellifica L.)*, ich mit der Krainer Rasse *(Apis mellifica carnica* Pollm.). Gibt es Dialekte der Bienensprache?

ren, *wie weit sich die benachrichtigten Bienen an die empfangenen Weisungen halten.* Hierbei heben sich zwei Fragen heraus: bei welcher Entfernung ein gerichtetes Suchen überhaupt einsetzt, und wie scharf bei gerichtetem Suchen die übermittelte Richtung von den Neulingen eingehalten wird.

Tabelle 3. *Divergenzwinkel des Schwänzeltanzes (vgl. Fig. 8b) bei Entfernungen des Futterplatzes von 100 m bis 500 m, Mittelwerte aus je n Einzelbeobachtungen.*

Entfernung des Futterplatzes in m	100	200	300	400	500
Divergenzwinkel	34°	23°	27°	15°	7°
n	98	41	56	52	93

Über den ersten Punkt geben Versuche Aufschluß, die nach folgendem Schema angelegt waren: Das Beobachtungsvolk stand in den ausgedehnten ebenen Wiesenflächen um das Gut Aich, unweit von Brunnwinkl am Wolfgangsee (wo fast alle hier besprochenen Versuche durchgeführt sind). Ein Futterplatz mit einer kleinen Schar numerierter Bienen aus jenem Volk befindet sich abwechselnd 10 m, 25 m, 50 m und 100 m vom Stock, und zwar abwechselnd östlich, nördlich, westlich und südlich vom Stock. Während der Wanderung von einem Platz zum anderen wird die Konzentration der Zuckerlösung so weit herabgesetzt, daß möglichst keine Tänze stattfinden und daher keine Neulinge kommen[9]). Nachdem der vorbestimmte Platz erreicht ist, werden nach allen 4 Himmelsrichtungen in einem Umkreise, der um 15 m über die Entfernung des Futterplatzes hinausgeht[10]), Duftplatten mit je einem Tropfen Sternanisöl ausgelegt (Fig. 10), gleichzeitig wird am Futterplatz auf einer Sternanis-Duftplatte mit der Fütterung *konzentrierter* Zuckerlösung begonnen. Die nun einsetzenden Tänze alarmieren die Stockgenossen und schicken sie auf die Suche nach

Fig. 9. „*Sichel-tanz*", nach Balbzer und Tschumi.

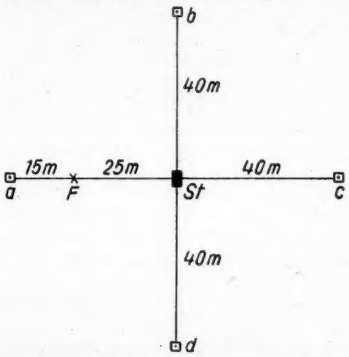

Fig. 10. Versuchsanordnung zur Prüfung der Frage, bei welcher Entfernung des Futterplatzes ein *gerichtetes* Suchen beginnt. *St* = Bienenstock, *F* = Futterplatz, *a*, *b*, *c*, *d* = Duftplatten.

Sternanisduft. Am Futterplatz anfliegende Neulinge werden getötet. Die Anflüge an den 4 futterlosen Duftplatten in der anschließenden Stunde geben ein Bild von der Verteilung der ausschwärmenden Neulinge.

Das Ergebnis einer solchen Versuchsreihe vom 1., 2. und 3. 8. 1946 ist in Fig. 11 graphisch dargestellt. Der Futterplatz kam je zweimal in jede der 4 Entfernungsstufen, und zwar das eine Mal in entgegengesetzter Richtung vom Stock wie das andere Mal. Die Höhe der Säule und die darunter stehende Zahl gibt für jede der Duftplatten, die nach den vier Himmelsrichtungen ausgelegt waren, die Anzahl der beobachteten Anflüge wieder, wobei sich die schwarze Säule auf die Duftplatte in der Richtung des Futterplatzes bezieht, die schraffierte Säule auf die Duftplatte in entgegengesetzter Richtung, die punktierten Säulen auf die beiden Duftplatten, die in Winkeln von 90° zur Flugrichtung der sammelnden Bienen ausgelegt waren. Man sieht, daß die Neulinge bei

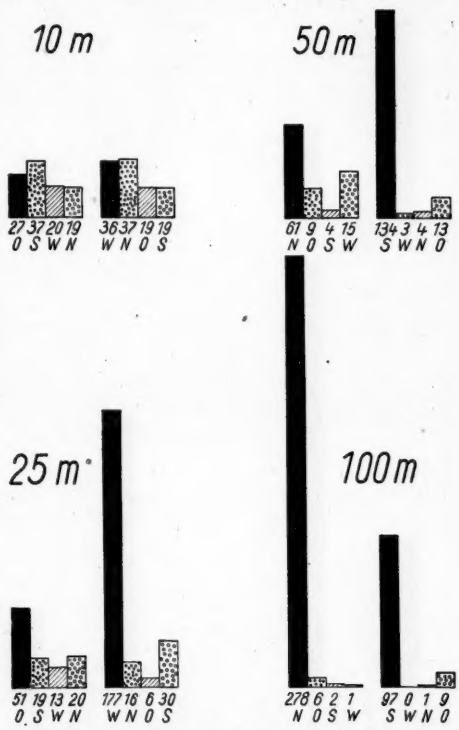

Fig. 11. Ergebnis einer Versuchsreihe über gerichtetes Suchen (vgl. Fig. 10). Der Futterplatz war abwechselnd 10 m, 25 m, 50 m und 100 m vom Stock entfernt. Die Zahlen unter der Abscisse und die Höhe der Säulen geben die Zahl der angeflogenen Bienen an den 4 Duftplatten an: *schwarz:* in Richtung des Futterplatzes, *schraffiert:* in der entgegengesetzten Richtung, *punktiert:* unter 90° zur Flugrichtung der sammelnden Bienen. Unter den Frequenzzahlen ist jeweils die Himmelsrichtung verzeichnet, in welcher (vom Stock aus) die Duftplatte lag.

einem Abstand des Futterplatzes von 10 m durch die Rundtänze der Sammlerinnen veranlaßt wurden, die Umgebung rund um den Stock ziemlich gleichmäßig abzusuchen. Bereits bei 25 m Abstand setzt ein deutlich gerichtetes Suchen ein. Das richtungweisende Schwänzeln ist bei dieser Entfernung für mich noch so undeutlich, daß ich es anfangs überhaupt nicht bemerkt hatte. Die Bienen scheinen für diese Andeutungen empfänglicher zu sein als wir. Bei 50 m Abstand wird die Richtungsweisung — die nun auch für den menschlichen Beobachter offenkundig ist — klar befolgt, und bei 100 m werden die abwegigen Duftplatten kaum mehr besucht.

Eine schwierige Frage ist, wie weit der Futterplatz selbst als Fehlerquelle in Betracht kommt. Daß er manchen Neuling an sich zieht, der in dieser Richtung sucht, muß die Zahl der Anflüge für die in der Richtung des Futterplatzes ausgelegte Duftplatte herabdrücken. Anderseits kann der zusätzliche Duft des Futterplatzes und

[9]) Die Bienen rufen nur bei guter Tracht durch Tänze Neulinge auf den Plan. Vgl. v. Frisch (3), (4).

[10]) Es wäre günstiger, die Duftplatten *näher*, statt *weiter* als den Futterplatz auszulegen, doch war es im vorliegenden Versuch wegen der teilweise sehr geringen Entfernung des Futterplatzes vom Stock nicht angängig.

die Schar der Sammlerinnen, die ihr Duftorgan betätigen, mehr Bienen in diese Richtung locken. Ich glaube, daß sich diese Einflüsse ziemlich ausgleichen.

Zur anderen Frage: wie genau sich die Neulinge bei ferner gelegenen Futterplätzen an die Richtungsweisung halten, habe ich am 27. 9. 47 den folgenden *Fächerversuch* ausgeführt: Der Beobachtungsstock stand in Brunnwinkl. Etwa 1 Dutzend numerierte Bienen aus diesem Volk sammelte an einer 300 m entfernten Futterstelle, in Richtung 37° östlich von Nord. In den aus Fig. 12 ersichtlichen Richtungen,

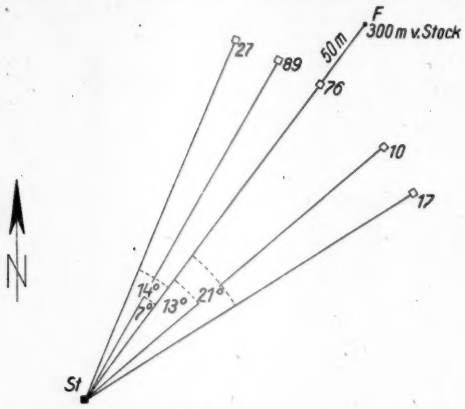

Fig. 12. *Fächerversuch* vom 27. 9. 1947. *St* = Bienenstock, *F* = Futterplatz, 300 m vom Stock. Die um 50 m näher zum Stock fächerförmig ausgelegten Duftplatten (durch kleine Quadrate angedeutet) erhielten binnen 1 Stunde den in Zahlen angegebenen Besuch durch ausschwärmende Neulinge.

und um 50 m näher zum Stock, wurden 5 Duftplatten mit Lavendelöl ausgelegt, wobei der Riechstoff diesmal nicht auf die Platte getropft, sondern in ein kleines Gläschen mit 6 mm Öffnungsweite gefüllt wurde (Fig. 13); dadurch war eine geringe Intensität des Duftes gewährleistet, so daß nur Bienen angezogen wurden, die wirklich in der nächsten Umgebung gesucht hatten, und es war überdies eine für alle Duftplatten gleiche und für die Dauer des Versuches gleichbleibende Duftintensität gesichert. Nun wurde am Futterplatz auf lavendelduftender Unterlage konzentrierte Zuckerlösung geboten. Während der folgenden Stunde erhielten die Duftplatten die in Fig. 12 verzeichneten Anflüge. Die Mehrzahl der suchenden Bienen bewegte sich in der Richtung zum Futterplatz in einem Streuwinkel von etwa 30°. Das bedeutet einerstaunlich scharfes Einhalten der gewiesenen Richtung. Doch bleibt abzuwarten, ob dieses Ergebnis als Regel betrachtet werden kann. Der Versuch mußte in wenig günstigem, bergigem Gelände laufen und soll auf ebener Wiesenfläche wiederholt werden.

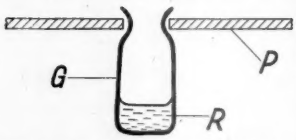

Fig. 13. Duftplatte für vergleichende Versuche: im Zentrum der Platte *P* (die äußeren Teile sind nicht dargestellt) steckt das Gläschen *G* mit dem Riechstoff *R*. Natürliche Größe.

Man wird fragen, wie die Stockgenossen auf der Wabe die in der Tanzweise enthaltene Nachricht so genau auffassen können. Der Beobachtungsstock zeigt uns jede Tänzerin gefolgt von nachtrippelnden Bienen, die sie wie einen Schwanz hinter sich herzieht. So erfahren sie, von der Tänzerin geführt, *durch eigene Ausübung der entsprechenden Bewegungen* den Rhythmus und die Richtung des Tanzes, der ihr anschließendes Verhalten bestimmt.

3. *Richtungsweisung bei bedecktem Himmel.*

Die tanzenden Bienen weisen auch bei bedecktem Himmel die Richtung zum Futterplatz nach dem jeweiligen Sonnenstand. Die Frage ist, ob sie den Sonnenstand trotz einer Wolkendecke wahrnehmen können, oder ob sie etwa auf Grund früherer Erfahrungen und infolge ihres wohlentwickelten Zeitsinnes[11]) wissen, wo die Sonne zur gegebenen Zeit steht, auch wenn sie sie augenblicklich nicht wahrnehmen können. Gewiß ist das Letztere wenig wahrscheinlich. Aber es haben sich schon manche unwahrscheinliche Dinge als zutreffend erwiesen, und so sollte ein Experiment entscheiden.

Am Morgen des 23. 7. 1946 lag eine geschlossene Wolkendecke über uns, die nicht den Eindruck machte, als wollte sie bald aufgehen. Rasch wurde ein Beobachtungsstock, der bei St. Gilgen gestanden hatte, nach Aich versetzt. Der neue Aufstellungsort war 2 km vom früheren Standplatz entfernt, überdies durch den See und bewaldetes Hügelland von ihm getrennt, und bar jeder verlockenden Tracht. Die Gegend war dem Bienenvölkchen bestimmt unbekannt und es konnte nicht aus früheren Erfahrungen wissen, wo zu gegebener Stunde die Sonne steht. Bereits um 8.10 Uhr waren wir mit einem schnell angelegten Futterplatz bis 75 m vom Stock gewandert. Nach Beobachtung von 8 Tänzen verlegten wir den Futterplatz auf 100 m Abstand und nahmen weitere 20 Tänze zu Protokoll. Das Ergebnis ist in Tabelle 4 zusammengestellt. Außer den Mittelwerten findet man auch die einzelnen beobachteten Tanzwinkel verzeichnet. Der Futterplatz lag vom Stock aus 10° östlich von Süd.

Die Wolkendecke war geschlossen geblieben, zeitweise nieselte es. Wir verlegten nun den Futterplatz auf einen Abstand von 220 m. Bei der Beobachtung von weiteren 20 Tänzen ergab sich ein Fehler von 9° im Durchschnitt. Die Wolkendecke war nun dünner geworden und begann bald darauf, sich aufzulockern, womit der Versuch abgebrochen wurde.

Die Richtungsweisung war also bei bedecktem Himmel auch im fremden Gelände nicht schlechter als bei klarem Wetter. Die Bienen müssen den Sonnenstand auch bei bewölktem Himmel erkennen.

Die Erklärung konnte man darin suchen, daß die Bienen vielleicht die Richtung der Wärmestrahlung wahrnehmen können, die ja die Wolken durchdringt. Wenn es so ist, sollte man erwarten, daß sie sich auf eine gerichtete Wärmestrahlung dressieren lassen, und es lernen, sich durch strahlende Wärme zu einer Futterquelle leiten zu lassen. Versuche meines Schü-

Tabelle 4. *Richtungsweisung bei geschlossener Wolkendecke, in einem den Bienen neuen Gelände (23. 7. 1946).*

Vers. Nr.	MEZ.	Sonnenazimut[12])	Sonnenwinkel[12])	Tanzwinkel[12]) (Einzelbeobachtungen)	Tanzwinkel (Mittelwert)	Fehler	*n*	Entfernung d. Futterplatzes
98	8.15	99°	71° r.	75° 60° 60° 75° 52° 65° 60° 60°	63° r.	8°	8	75 m
99	8.37	104°	66° r.	75° 67° 53° 60° 60° 60° 60° 60° 60° 70° 60° 60° 60° 60° 60° 67° 68° 75° 67° 75°	64° r.	2°	20	100 m

[11]) Belling (1), Wahl (11), (12), Kleber (10) v. Frisch (5).
[12]) Vgl. S. 15 Anm. 7.

lers Heran brachten aber bisher für eine solche Annahme keine Stütze. Das Rätsel bleibt noch zu entschleiern.

4. Die „Mißweisung".

Schon 1945 war mir aufgefallen, daß der Tanzwinkel manchmal vom Sonnenwinkel erheblich abweicht. Das heißt: wenn man den oben (Fig. 6) gegebenen Schlüssel für die Richtungsweisung zugrunde legt, so machen die Bienen manchmal „Fehler". Es konnte sich nicht um individuelle Ungenauigkeiten handeln. Denn in einem gegebenen Versuch machten alle Bienen, mit kleinen Unterschieden, denselben Fehler. Auch lag ein System in der Sache. Um 12 Uhr mittags gab es keine Mißweisung. Sie war um so größer, je früher am Morgen oder je später am Nachmittag beobachtet wurde. So war es bei *einem* Volk (Fig. 14). Da aber im gleichen Sommer bei einem zweiten Volk die Mißweisungen unbedeutend waren und keinen täglichen Gang erkennen ließen, wußte ich mit der Beobachtung zunächst nichts anzufangen.

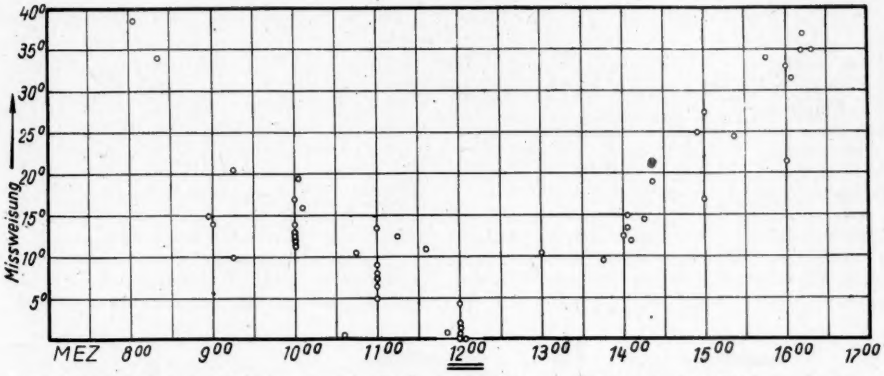

Fig. 14. Abhängigkeit der *Mißweisung* von der Tageszeit. Ergebnisse der 50 Versuche über Richtungsweisung am Volk Winterstein in Aich 24. 8. bis 23. 9. 1945. Abscisse: Die Tageszeit. Ordinate: Die Mißweisung (Differenz zwischen Sonnenwinkel und Tanzwinkel, vgl. Anm. 7).

Heute liegen aus 3 Versuchsjahren 215 Versuche über die Richtungsweisung mit 3637 protokollierten Tänzen von 9 verschiedenen Bienenvölkern vor. Die Sichtung dieses großen Materials ließ bemerkenswerte Regeln erkennen.

Bei den Versuchen an Volk Winterstein in Aich 1945 erfolgte die Mißweisung fast ausnahmslos in dem Sinne, als würden sich die Bienen bei der Richtungsweisung nicht auf die Sonne selbst beziehen, sondern auf einen *südlich* von der Sonne gelegenen Bezugspunkt am Himmel, der um so mehr nach Süden verschoben ist, je größer der zeitliche Abstand von der Mittagsstunde ist. Fig. 15 soll dies in graphischer Darstellung an einigen Versuchsergebnissen anschaulich machen.

Dasselbe Volk war im gleichen Sommer vorübergehend an einem anderen Standort aufgestellt. Bei den 6 von dort vorliegenden Versuchen über Richtungsweisung lagen die Mißweisungen ausnahmslos im entgegengesetzten Sinne, nämlich so, als würden die Bienen auf einen *nördlich* von der Sonne gelegenen Punkt am Himmel Bezug nehmen. Zwei Beispiele dafür bringt Fig. 16.

Die zunächst gehegte Vermutung, daß der Sinn der Mißweisung vom *Standort* des Volkes abhängig sei, erwies sich als falsch. Denn 1947 hatte von zwei Völkern, die nacheinander denselben Platz einnahmen, das eine den Bezugspunkt südlich, das andere nördlich von der Sonne. Nun war von diesen Völkern — aus hier nebensächlichen Gründen — das erste mit dem Flugloch nach Osten, das zweite mit dem Flugloch nach Westen aufgestellt worden. Eine Überprüfung der Ergebnisse an allen Völkern unter Berücksichtigung der Ausrichtung des Flugloches führte zu folgender Überraschung: Bei 4 Völkern, die mit dem Flugloch genau oder angenähert nach Osten orientiert waren, lag der Bezugspunkt für die Richtungsweisung südlich der Sonne; bei 3 Völkern, die mit dem Flugloch nach Westen standen, lag er nördlich; bei 3 Völkern, deren Flugloch nach Süden gerichtet war, lag er vormittags südlich und nachmittags nördlich von der Sonne. Wenn man diesen Zu-

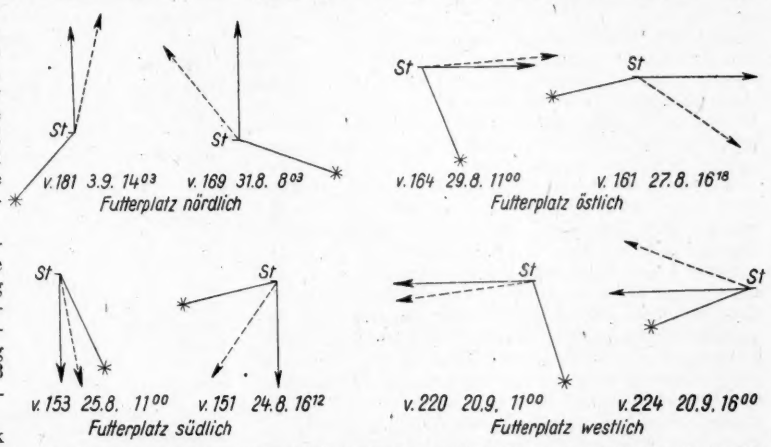

Fig. 15. Aus der Versuchsreihe an Volk Winterstein in Aich 1945: Je zwei Beispiele für die Mißweisungen bei nördlich, östlich, südlich und westlich gelegenem Futterplatz. *St* = Beobachtungsstock. * = Sonnenstand. Ausgezogener Pfeil = Richtung zum Futterplatz. Punktierter Pfeil = die von den Bienen gewiesene Richtung (nach dem Schlüssel Fig. 6). Richtungsweisung scheinbar nach einem *südlich* der Sonne gelegenen Bezugspunkt.

sammenhang durchdenkt, kommt man zu der Feststellung, daß er sinnlos ist. Er trifft auch offenbar nicht den Kern der Sache.

Um diesen herauszuschälen, muß ich auf eine andere sonderbare Entdeckung eingehen, mit der ich zunächst ebensowenig anzufangen wußte. Meine Beobachtungsstöcke sind so eingerichtet, daß die heimkehrenden Bienen durch das Flugloch, welches sich an einer Schmalseite des Stockes befindet, stets auf dieselbe Wabenseite gelangen, und zwar ist es, wenn das Flugloch nach Osten weist, die nach Norden gerichtete Wabenfläche. Die Vorkehrung bezweckt nur, alle Heimkehrer auf dieselbe Seite zu lenken, damit man hier die Tänze beobachten kann, ohne seinen Standort zu wechseln. Nur ausnahmsweise begeben sich die Sammlerinnen durch Löcher in der Wabe auf die andere Seite und tanzen drüben. Hierbei war mir aufgefallen, daß die auf der anderen Wabenseite angezeigte Richtung mitunter sehr merklich, und bei allen Tänzerinnen im gleichen Sinne, von der auf der diesseitigen Wabenfläche gewiesenen Richtung abweicht. Darüber habe ich am 5. 8. 1946 genauere Aufzeichnungen gemacht. Die Tänze wurden tagsüber in je 5 Versuchen abwechselnd auf der einen und auf der anderen Wabenseite beobachtet. Es zeigte sich auf der nach Norden und der nach Süden gerichteten Wabenfläche derselbe Gegensatz in der Lage des Bezugspunktes, wie in den anderen Versuchen bei östlicher und westlicher Orientierung des Flugloches. Eine Durchsicht der früheren Gelegenheitsbeobachtungen von Tänzen auf der „anderen" Wabenseite bestätigt diesen Sachverhalt. Es kommt also offenbar gar nicht auf die Lage des Flugloches an, sondern nur darauf, an welcher Seite des Beobachtungsstockes der hölzerne Schutzdeckel abgenommen wird, und aus welcher Himmelsrichtung daher das Licht auf die Wabe fällt. Man gewinnt den Eindruck, *daß die Mißweisung nur auf diese unnatürliche Belichtung der Wabe bei der Beobachtung zurückzuführen ist.*

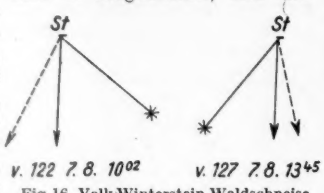

Fig. 16. Volk Winterstein, Waldschneise über Brunnwinkl 1945: Zwei Beispiele für die Mißweisung. Erklärung wie bei Fig. 15. Richtungsweisung scheinbar nach einem *nördlich* der Sonne gelegenen Bezugspunkt.

Die graphische Darstellung Fig. 17 soll diesen Zusammenhang deutlich machen. Ich habe je ein Volk mit östlich, westlich und südlich orientiertem Flugloch herausgegriffen. Der Pfeil zeigt die Lage des Flugloches an, der Buchstabe B den Platz des Beobachters. Auf dieser Seite war also der Stock beim Versuch geöffnet und daher belichtet. Am südlichen Kreisbogen sind die Ergebnisse der Versuche über Richtungsweisung an dem betreffenden Volk und Standort verzeichnet, wobei für jeden Versuch *die Zahl* den Betrag der Mißweisung und *ihre Position* die Richtung des Sonnenstandes zur Versuchszeit angibt. Die *nach unten* (Süden) zeigenden *Pfeile* bedeuten, daß die Tänzerinnen die Richtung scheinbar nach einem südlich der Sonne gelegenen Bezugspunkt gewiesen haben, die *nach oben* gerichteten *Pfeile* bedeuten einen nördlich von der Sonne gelegenen Bezugspunkt. Die vorhin erwähnte Regel springt in die Augen. In manchen anderen Versuchsreihen gab es (wenige) Ausnahmen von der Regel. Ihre Diskussion ist hier nicht notwendig.

Das zu Beginn dieses Abschnittes besprochene Anwachsen der Mißweisungen gegen Morgen und Abend war in allen Fällen mehr oder weniger deutlich, mit zwei Ausnahmen: bei einem 1945 in der Brunnwinkler Kegelbahn aufgestellten Volk bei einer bestimmten Orientierung des Stockes und bei einem Volk in Graz 1947 fehlt dieser tägliche Gang. Das ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß hier durch Baumkronen und Bauwerke auch bei geöffnetem Stock das Himmelslicht weitgehend abgeschirmt war.

Das Verständnis für die besprochenen Regeln hat sich aus weiteren, ganz anderen Versuchen ergeben, die im II. und III. Teil dieser Arbeit behandelt werden. Ich komme am Schluß darauf zurück.

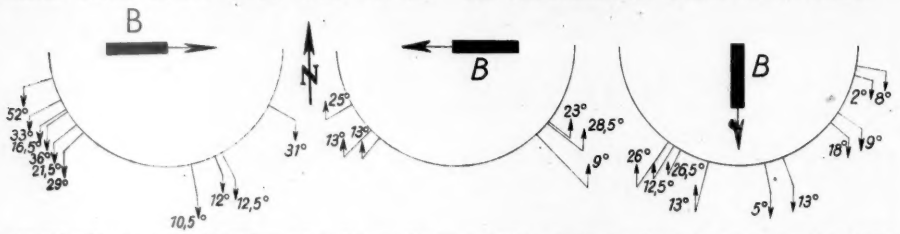

Fig. 17. Die Mißweisungen bei 3 Völkern mit östlich, westlich und südlich orientiertem Flugloch. *B* = Beobachter. Auf dem südlichen Kreisbogen ist für jeden Versuch durch den Strich der Sonnenstand, durch die Zahl der Betrag der Mißweisung und durch die Richtung des Pfeiles der Sinn der Mißweisung (südlicher oder nördlicher Bezugspunkt) angegeben.

5. *Der Bergschattenversuch.*

Der „Versuch bei bedecktem Himmel" vom 23. 7. 1946 war schon zu einem früheren Zeitpunkt geplant gewesen. Am 22. 6., als das Wetter für unsere Absichten günstig schien, brachten wir frühmorgens einen Beobachtungsstock von Brunnwinkl über den See zu dem etwa 3 km entfernten Gasthof Lueg und ließen die Bienen in der ihnen unbekannten Gegend fliegen. Der Himmel blieb bedeckt. Es war sehr kühl, und so wurde es Mittag, bis wir mit dem Futterplatz genügend weit vom Stock entfernt waren. Von 12.35 bis 12.45 Uhr ergab die erste Beobachtung bei einem Abstand des Futterplatzes von 55 m eine angenähert zutreffende Richtungsweisung (durchschnittlicher Fehler 13°). In den folgenden Versuchen, von 14.00 bis 15.10 Uhr, bei Abständen des Futterplatzes von 75 und 100 m, waren die beobachteten 37 Tänze zwar untereinander übereinstimmend, aber sie wiesen — nach unserem Schlüssel — nach einer ganz falschen Richtung, so daß die Abweichung 120—130° betrug. Beim Nachgrübeln über die Ursache dieses unerwarteten und unverständlichen Befundes fiel mir ein, daß die Bienen nach 14 Uhr vielleicht die Sonne auch durch die Wolkendecke nicht mehr wahrnehmen konnten, weil sie durch den im Südwesten steil aufragenden Rücken des Zwölferhornes verdeckt war. Diese Vermutung hat sich am folgenden Tag, bei klarem Himmel, bestätigt: der Futterplatz und die ganze zweite Hälfte der Flugstrecke lagen um 14 Uhr bereits im Schatten des Zwölferhornes. Das Experiment „bei bedecktem Himmel" war dadurch mißlungen; aber der unbeabsichtigte „Bergschattenversuch" forderte zu weiterer Verfolgung heraus. Wie

weisen die Bienen in einer ihnen unbekannten Gegend die Richtung, wenn sie die Sonne wirklich nicht wahrnehmen können, weil sie hinter einem Berg steht?

Am 29. 7. 1946 fuhren wir mit einem anderen Bienenstock („Nußbaumvolk") wieder nach Lueg. Abermals war der Himmel den ganzen Tag bedeckt. Wir öffneten den Stock erst um 16.05 Uhr, als der Aufstellungsort und die ganze Flugstrecke zum geplanten Futterplatz, zwischen dem See im Nordosten und dem bewaldeten Steilhang im Südwesten, bereits im Bergschatten lag — wovon wir uns an vorangegangenen klaren Tagen überzeugt hatten. Die Anlage des Futterplatzes und seine Verlegung auf größere Entfernung ging rasch vonstatten. Zwei Beobachtungsreihen bei einem Abstand des Futterplatzes von 100 m (16.30 bis 16.50 Uhr und 17.08 bis 17.23 Uhr) brachten ein überaus merkwürdiges Ergebnis. Im ersten Versuch haben von 30 beobachteten Tänzen 21 die Richtung zutreffend gewiesen, mit einem durchschnittlichen Fehler von 9°; 9 Tänze wiesen nach der entgegengesetzten Seite mit einer durchschnittlichen Abweichung von 8° von der spiegelbildlichen Richtung. Im zweiten Versuch waren von 20 Tänzen 12 zutreffend, mit einem Fehler von nur 4°; 8 waren verkehrt, mit einer Abweichung von 5° von der spiegelbildlichen Richtung. Die Bienen waren sozusagen bei der Richtungsangabe verschiedener Meinung. Die Majorität, nämlich 17 Tiere unserer Schar, tanzte stets nach der richtigen Seite, während 3 Bienen, nämlich Nr. 12, 16 und 20, nach der falschen Richtung tanzten. Von ihnen war Nr. 20 unsicher, sie tanzte einmal auch richtig, und enthielt sich mehrmals durch ein Schwänzeln im Rundlauf einer präzisen Richtungsangabe.

Der Stock wurde abends mit geschlossenem Flugloch ins Haus gestellt und erst am nächsten Nachmittag um 16.15 Uhr wieder an seinen Platz getragen und geöffnet. Diesmal war der Himmel klar. Von 39 beobachteten Tänzen wiesen nun alle nach der richtigen Seite. Von den Bienen, die am Tag zuvor falsch getanzt hatten, war nur mehr Nr. 16 am Versuch beteiligt und tanzte richtig.

Da an die Möglichkeit zu denken war, daß sich die Bienen durch weit ausholende Orientierungsschleifen doch noch ein Bild von der Stellung der Sonne verschafft hatten, wiederholten wir den Versuch am 23. 9. 1946 (bei klarem Wetter). Wir nahmen dasselbe Volk, das schon am 22. 6. für einen Tag nach Lueg gebracht worden war. Nach Ablauf von 3 Sommermonaten war von den damaligen Flugbienen bestimmt keine mehr da, so daß dem Volk die Gegend unbekannt war. Die Schattengrenze lag zu dieser Jahreszeit um 14.20 Uhr, als der Stock geöffnet wurde, schon etwa 100 m vom Ufer entfernt und verlagerte sich rasch weiter auf den See hinaus. Wir hatten nicht den Eindruck, daß die sofort an den Futterplatz gelockten Bienen bei ihren Orientierungsflügen noch in den besonnten Bereich kamen. Von 15.55 bis 17 Uhr wurden bei Abständen des Futterplatzes von 50 bis 100 m 21 Schwänzeltänze beobachtet, die mit einer zunehmenden Mißweisung von etwa 50 bis 70° behaftet waren. Ihr Auftreten dürfte darauf zurückzuführen sein, daß das Volk diesmal unter freiem Himmel stand, während es bei den Versuchen vom 29. und 30. 7. im tiefen Schatten einer Kastanie aufgestellt war. Wichtiger ist in unserem Zusammenhange, daß auch diesmal von den 21 Tänzen 7 die spiegelbildliche Richtung anzeigten, mit derselben Mißweisung, wie bei den Tänzen nach der richtigen Seite.

Ich hatte im Bergschattenversuch ein völliges Versagen der Richtungsweisung erwartet. Statt dessen waren die Richtungsangaben der Tänzerinnen recht bestimmt, wenn auch — nach unserem Schlüssel — nur teilweise zutreffend. Am auffälligsten ist das Vorkommen einer spiegelbildlichen Weisung unter diesen Bedingungen. Wir werden derselben Erscheinung bei ganz anderen Versuchen noch einmal begegnen, und vielleicht wird von daher später Licht in diese mysteriöse Angelegenheit kommen.

6. Richtungs- und Entfernungsweisung im Umwegversuch.

Wo die Straße nach Salzburg, von St. Gilgen ansteigend, etwa 1 km hinter der Ortschaft eben den letzten schönen Blick über den Wolfgangsee bietet, führt sie hernach in scharfer Kurve nach rechts um einen steilen, bewaldeten Bergrücken. Am 20. 7. 1946 wurde ein Beobachtungsstock (das „Nußbaumvolk") von Brunnwinkl an diesen Ort gebracht und bei St. (Fig. 18) aufgestellt. Ein bei a angelegter Futterplatz

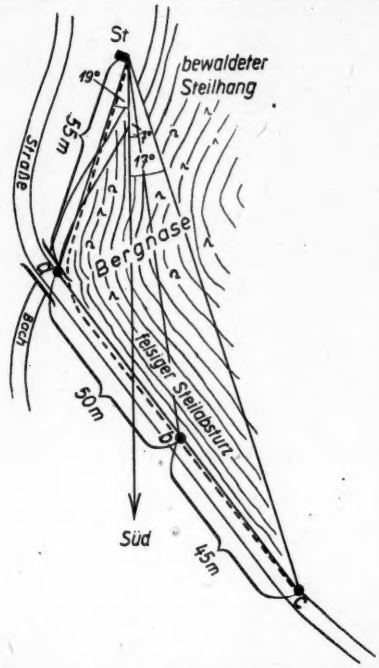

Fig. 18. *Umwegversuch. St.* = Beobachtungsstock, *a, b, c* = Futterplätze. Gestrichelte Linie der Flugweg der Bienen.

war 55 m vom Stock entfernt. Um 13 Uhr ergab die Beobachtung von 10 Tänzen eine Richtungsweisung, die nur um 6° von der Richtung zum Futterplatz abwich. Nun wurde die Futterstelle nach b, und in einigen Versuchen nach c verlegt. Die Bienen flogen, auch an den folgenden Tagen, den durch die Bergnase vorgezeichneten Umweg (gestrichelte Linie in Fig. 18). Die Frage war: *welche Richtung würden sie nun weisen?* Würden sie ihren Stockgenossen als Wegweisung zum Futterplatz die Richtung des ersten Schenkels ihrer Flugstrecke kundgeben, vom Stock bis zur Ecke, oder die Richtung des zweiten Schenkels, von der Ecke bis zum Futterplatz? Weder das eine noch das andere könnte die Kameraden zum Ziel leiten. Und sie taten keines von beidem, sondern *wiesen die Richtung der Luftlinie, die sie nie geflogen waren.*

Das Ergebnis der vom 20. bis 25. 7. durchgeführten 14 Versuche ist in Tabelle 5 niedergelegt. Die Beobachtung dauerte bei jedem Versuch 10—20 Minuten. Die unter MEZ. angegebene Zeit ist die mittlere Beobachtungszeit, auf die sich auch das Sonnenazimut

bezieht. Unter n ist die Zahl der in jedem Versuch beobachteten Tänze angegeben; der Durchschnittswert für die von den Tänzerinnen gewiesenen Richtungen ist als „Tanzwinkel" verzeichnet. Aus diesen Durchschnittswerten ergibt sich im Mittel eine Abweichung von 9° gegenüber der Luftlinie vom Stock zum Futterplatz. Gegenüber dem ersten und zweiten Schenkel der tatsächlich geflogenen Strecke würden die Abweichungen 24° und 30° betragen[13]).

Futterplatz um die Felskante herum nach F_2 zu verlegen (Fig. 20*a*; in Fig. 19 ist der Platz durch ein Sternchen bezeichnet). Wir hofften bei diesem Versuch auch eine besonders klare Bestätigung für die *Richtungs*weisung nach der Luftlinie zu erhalten. Diese Erwartung haben die Bienen durchkreuzt, indem sie in aller Schnelligkeit herausfanden, daß der Umweg *über den Gral* — entgegen unserer Schätzung — kleiner war als der Umweg um die Kante. Sie hielten

Tabelle 5. *Richtungsweisung in Umwegversuchen (20.—25. 7. 1946).*

Lfde. Nr.	Vers. Nr.	Tag MEZ.	Futterplatz	Sonnenazimut	Azimut (Himmelsrichtung des Futterplatzes)	Sonnenwinkel	Tanzwinkel	Differenz	n	Wetter
1	85	20. 7. 14.10	b	231,5°	173° (7° östl. v. S.)	58,5° l.	46° l.	12,5°	12	sonnig
2	86	20. 7. 14.52	c	244°	163° (17° östl. v. S.)	81° l.	69° l.	12°	10	teilweise bedeckt
3	89	22. 7. 9.17	b	112,5°	173° (7° östl. v. S.)	60,5° r.	56° r.	4,5°	12	„ „
4	90	22. 7. 10.00	b	124°	173° (7° östl. v. S.)	49° r.	40° r.	9°	14	„ „
5	91	22. 7. 10.55	b	143,5°	173° (7° östl. v. S.)	29,5° r.	22° r.	7,5°	15	meist bedeckt
6	92	22. 7. 11.50	b	169°	173° (7° östl. v. S.)	4° r.	0,5° l.	4,5°	15	„ „
7	93	22. 7. 13.45	b	222,5°	173° (7° östl. v. S.)	49,5° l.	45,5° l.	4°	20	sonnig
8	94	22. 7. 14.27	c	236,5°	163° (17° östl. v. S.)	73,5° l	70° l.	3,5°	20	„
9	102	24. 7. 7.37	b	91°	173° (7° östl. v. S.)	82° r.	99° r.	17°	12	wolkenlos
10	103	24. 7. 8.05	c	97°	163° (17° östl. v. S.)	66° r.	66° r.	0°	21	„
11	104	25. 7. 6.47	b	83°	173° (7° östl. v. S.)	90° r.	115° r.	25°	13	„
12	105	25. 7. 7.25	b	89°	173° (7° östl. v. S.)	84° r.	93° r.	9°	16	„
13	106	25. 7. 8.05	b	97°	173° (7° östl. v. S.)	76° r.	76° r.	0°	16	„
14	107	25. 7. 9.40	b	119°	173° (7° östl. v. S.)	54° r.	35° r.	19°	20	„

Am 19. 8. 1946 brachten wir ein Beobachtungsvolk auf den Schafberg, an einen für den Umwegversuch noch besser geeigneten Platz. Doch bereitete ein Schlechtwetter- und Kälteeinbruch dem Bienenvolk und hiermit dem geplanten Versuch ein vorzeitiges Ende.

Am 28. 7. 1947 mußten die Bienen eines Beobachtungsstockes auf dem Weg zum 100 m entfernten Futterplatz einen Wald in ausholendem Bogen umfliegen. Auch in diesem Falle wurde mit aller Deutlichkeit die Richtung der Luftlinie gewiesen.

Zur Entscheidung der Frage, ob auch für die *Entfernungsweisung* die Strecke der Luftlinie maßgebend ist, sind alle bisher besprochenen Versuche wenig geeignet, weil der Abstand des Futterplatzes zu gering war. Wir brachten darum am 7. 7. 1947 abermals einen Beobachtungsstock auf den Schafberg. Der vom Gipfel des Berges nach Osten verlaufende Grat endet über dem Mittersee in einem Steilabsturz (Fig. 19). Diese Felskante sollten die Bienen umfliegen. Der Stock wurde jenseits der in Fig. 19 sichtbaren Wand auf einem Grasband aufgestellt. Wir legten einen Futterplatz an und brachten ihn zunächst auf einen geradlinigen Abstand von 100 m (Fig. 20a, F_1). Für die Entfernungsweisung ergaben sich in 3 Versuchen am 8. und 11. 7. als Durchschnitt aus je 9, 13 und 10 beobachteten Tänzen 9,3 und 9,5 und 9,2 Schwänzelläufe je ¼ Minute, in guter Übereinstimmung mit dem Mittelwert 9,4 aus allen bisher für diese Entfernung vorliegenden Beobachtungen (vgl. Fig. 3, S. 13). Am 11. 7. gelang es, trotz Wetterschwierigkeiten, den

[13]) Drei von diesen Versuchen (Nr. 9, 11 und 12) lagen so zeitig am Morgen, daß der zweite Schenkel der Flugstrecke noch im tiefen Schatten des Bergrückens lag. Hier haben die Bienen in zwei Fällen (Versuch 9 und 11) die Richtung des ersten, besonnten Schenkels gewiesen (Abweichungen von dieser Richtung 7° und 1°); bei Versuch 12 — eine Stunde nach Beginn der Fütterung an diesem Tage — wiesen sie aber auch so bereits angenähert richtig die Luftlinie. Schaltet man diese 3 Versuche, bei welchen ein Flugschenkel noch im tiefen Schatten lag, für die Durchschnittsberechnung aus, so ergibt sich eine mittlere Abweichung von 7° von der Richtung der Luftlinie, während die Abweichungen vom ersten und zweiten Schenkel der geflogenen Strecke 28° und 26° betragen würden.

also mit Bezug auf den Sonnenstand direkt die Richtung zum Futterplatz ein, waren aber durch den Felsgrat, den sie überfliegen mußten, zu einem genügend

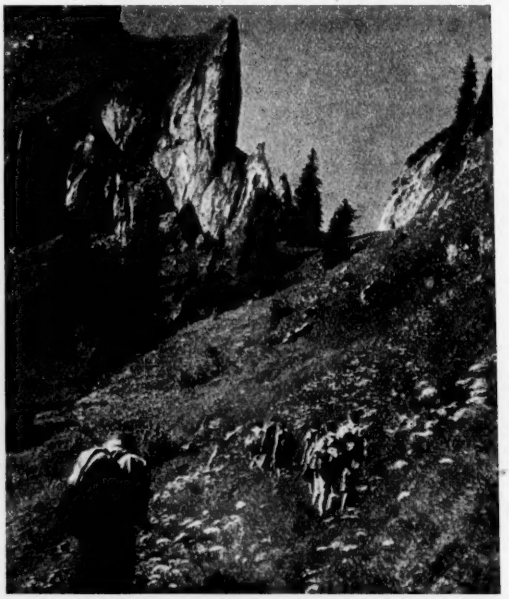

Fig. 19. Das Gelände des Umwegversuches auf dem Schafberg. * = Futterplatz. Der Beobachtungsstock stand auf der anderen Seite des Felsgrates in angenähert gleicher Höhe.

großen Umweg nach oben gezwungen, um die Frage der Entfernungsweisung zu klären (Fig. 20a und b). Der Abstand zwischen Stock und Futterplatz war in der Luftlinie 90 m, entlang der Flugstrecke etwa

150 m. Zwei Versuche am 13. 7. mit 7 und 20 beobachteten Tänzen ergaben im Durchschnitt 8,4 bzw. 8,5 Wendungen je ¼ Minute, was mit dem Durchschnittswert 8,5 aus allen bisherigen Beobachtungen für diese Entfernung (Fig. 3) übereinstimmt. Das Ergebnis spricht dafür, *daß bei der Entfernungsweisung die tatsächlich zurückgelegte Strecke angezeigt wird.*

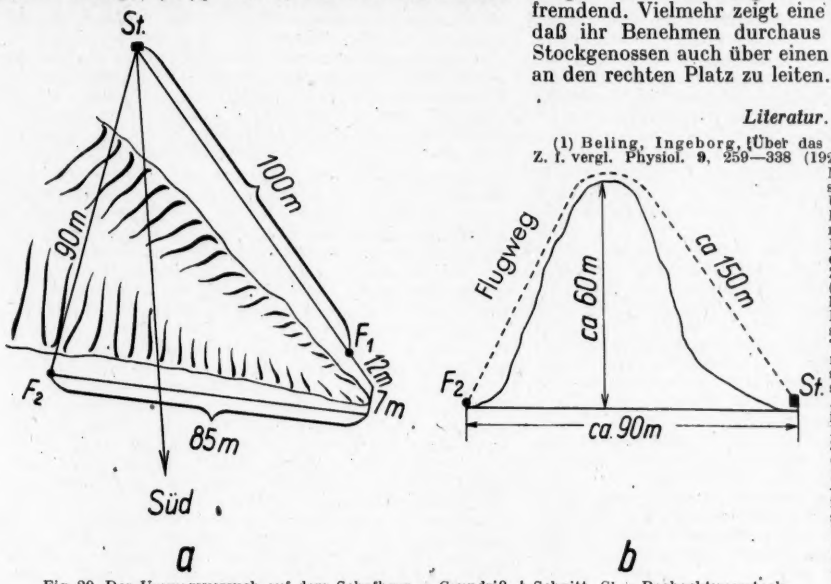

Fig. 20. Der Umwegsversuch auf dem Schafberg. *a* Grundriß, *b* Schnitt, *St* = Beobachtungsstock, F_1 und F_2 = Futterplätze.

Ich hoffe den Versuch wiederholen zu können. Das gegensätzliche Verhalten der Bienen bei der Richtungs- und Entfernungsweisung ist aber nicht befremdend. Vielmehr zeigt eine einfache Überlegung, daß ihr Benehmen durchaus sinnvoll ist, um die Stockgenossen auch über einen erzwungenen Umweg an den rechten Platz zu leiten.

(Fortsetzung folgt.)

Literatur.

(1) Beling, Ingeborg, Über das Zeitgedächtnis der Bienen. Z. f. vergl. Physiol. **9**, 259—338 (1929). — (2) Frisch, K. v., Methoden sinnesphysiologischer und psychologischer Untersuchungen an Bienen. Handb. d. Biol. Arbeitsmethoden Abt. VI, Teil D, 121—178 (1922). — (3) Über die „Sprache" der Bienen. Zool. Jahrb. Phys. **40**, 1—186 (1923). — (4) Sinnesphysiologie und „Sprache" der Bienen. Die Naturwissenschaften **12** (1924). — (5) Die Tänze und das Zeitgedächtnis der Bienen im Widerspruch. Die Naturwissenschaften **28** (1940). — (6) Die „Sprache" der Bienen und ihre Nutzanwendung in der Landwirtschaft. Experientia **2** (1946 a). — (7) Die Tänze der Bienen. Österr. Zool. Zeitschr. **1**, 1—48 (1946 b). — (8) Duftgelenkte Bienen im Dienste der Landwirtschaft und Imkerei. Springer-Verlag, Wien 1947. — (9) Hansson, A., Lauterzeugung und Lautauffassungsvermögen der Bienen. Opuscula Entomologica Suppl. VI, Lund (1945). — (10) Kleber, Elisabeth, Hat das Zeitgedächtnis der Bienen bilogische Bedeutung? Z. f. vergl. Physiol. **22**, 221—262 (1935). — (11) Wahl, O., Neue Untersuchungen über das Zeitgedächtnis der Bienen. Z. f. vergl. Physiol. **16**, 529—589 (1932). — (12) Beitrag zur Frage der biologischen Bedeutung des Zeitgedächtnisses der Bienen. Z. f. vergl. Physiol. **18**, 709—717 (1933).

Berichte.

Neue Ergebnisse der Selbststerilitätsforschung.

(Nach Arbeiten von St. Emerson, D. Lewis, H. Schoch-Bodmer und J. Straub.)

Selbststerile Blütenpflanzen sind dadurch charakterisiert, daß sie nach Selbstbestäubung keinen Samenansatz ergeben. Dies beruht meist darauf, daß der Pollen einer Pflanze *A* auf irgendeinem Griffel der Pflanze *A* in seiner Entwicklung gehemmt wird. Zum besseren Verständnis seien die Entwicklungsprozesse beim normalen Pollenschlauchwachstum kurz geschildert: Pollenkörner von Blütenpflanzen sprengen, auf die Narbe einer artgleichen Blüte gelangt, ihre äußere Wand, und jedes formt seinen Inhalt zu einer schlauchförmigen Zelle um. Diese Pollenschläuche drängen sich zunächst zwischen den fest zusammenhängenden Narbenzellen durch und wachsen dann im „Leitgewebe" des Griffelinnern bis zu den Samenanlagen. Im Leitgewebe entwickelt sich ein Pollenschlauch entweder in bereits vorhandenen, flüssigkeits- oder luftgefüllten Räumen zwischen den Leitgewebszellen, oder er verändert — bei anderen Formen — die festgefügten Leitgewebszellen so, daß Raum für das Wachstum frei wird. Der Pollenschlauch zeigt dabei Spitzenwachstum. Sein lebender Inhalt besteht aus Plasma (mit Einschlüssen) sowie einem vegetativen und einem generativen Kern. Der lebende Inhalt bleibt stets an der Spitze des Schlauches. Die anderen Teile werden durch eigenartige Pfropfen dauernd vom vorderen Teil abgetrennt. Bei Pflanzen mit langen Griffeln erreichen die Schläuche die 2000fache Länge des zugehörigen Pollenkorns.

Der geschilderte Wachstumsprozeß wird bei Selbststerilen (= Sst bzw. sst) an einer für jede Art charakteristischen Stelle gestoppt. Bei einigen (*Kohl, Rettich*) findet bereits das erste Auskeimen auf der Narbe nicht statt, bei anderen (*Petunie, Löwenmäulchen, Nachtkerze, Buchweizen, Blutweiderich*) — und auf diese seien die folgenden Ausführungen beschränkt — wird das Pollenschlauchwachstum im Leitgewebe des Griffels auf bestimmter Höhe unterbunden. Nach Fremdbestäubung sster Pflanzen ist dagegen die Pollenkeimung und das Pollenschlauchwachstum so normal wie bei selbstfertilen Pflanzen. Während die Entwicklungsgeschichte des Pollenschlauches nach Selbstung (Selbstbestäubung) oder Fremdung (Fremdbestäubung) einigermaßen bekannt ist, blieben die physiologischen Zusammenhänge ganz unklar.

Die genetische Grundlage der Selbststerilität (= Sstt) ist seit 1926 bekannt. Jede sst Pflanze enthält zwei Sstt-Gene, z. B. S_1 und S_2 (= $S_{1,2}$). Sie bildet Pollen, von dem 50% das Gen S_1, 50% das Gen S_2 im Kern tragen. Pollen mit S_1 wird in seinem Wachstum gehemmt, wenn er in einem Leitgewebe wachsen soll, das ebenfalls das Gen S_1 besitzt, ganz gleich, welches andere S-Gen dort noch vorhanden ist. Dasselbe gilt für S_2-Pollen auf einem Griffel, dessen Leitgewebszellen S_2 enthalten. Bei Selbstung einer sst Petunienpflanze mit den Genen $S_{1,2}$ beobachten wir, wie die Pollenschläuche bald nach der Keimung anfangen, langsamer zu wachsen, und etwa in der Griffelmitte stillstehen, während die Pollenkörner von $S_{1,2}$ auf dem Narbengriffel der Pflanze $S_{3,4}$ zu Schläuchen auswachsen, die mit gleichbleibender Geschwindigkeit von etwa 0,8 mm/Std. zu den Samenanlagen vordringen. Bestäubt man eine Pflanze $S_{1,4}$ mit dem Pollen von $S_{1,2}$, dann gelangen die S_1-Körner nicht zur Befruchtung, die S_2-tragenden Pollenkörner jedoch erreichen die

Eizelle. Immer wenn im wachsenden Pollenschlauch und im Leitgewebe die gleichen S-Gene vorliegen, kommt es zu Hemmung und damit zum Ausfall dieses Fortpflanzungskörpers.

Wir wissen von einigen sst Blütenpflanzen, daß sie eine große Zahl von S-Genen besitzen. Emerson (1939) hat uns mit einer besonders interessanten Art bekanntgemacht. *Oenothera organensis*, eine Nachtkerzenart, kommt nur in den „Organ-mountains" des südlichen Neu-Mexiko vor. Diese Berggruppe ist etwa 30 km lang und 5—12 km breit. Sie erhebt sich aus einer Ebene von etwa 1200 m Höhe bis zu 2700 m. Von *Oenothera organensis* kommen kleine Populationen in den Canyons dieser Berge oberhalb 1800 m Höhe vor. Sie stehen in Erosionsvertiefungen der Canyons, die mit Schotter gefüllt sind, neben *Jucca*, *Agave*, *Opuntia*. 4 Standorte sind aufgefunden worden, die zusammen etwa 500 Einzelpflanzen umfassen. Es existieren sicher nicht mehr als 1000 Wildindividuen. Die aufgefundenen Pflanzen enthalten, wie die genetische Analyse ergab, *45* verschiedene S-Allele. Wir haben es dabei mit einer recht interessanten genetischen Besonderheit zu tun. In den meisten Fällen kennt man nämlich für die Eigenschaft einer Blütenpflanze nur zwei Erbfaktoren (Allele), z. B. A und a. Sie können als AA oder Aa oder aa die Ausbildung der betreffenden Eigenschaft bestimmen. Für die Selbststerilität von *Oenothera organensis* gibt es jedoch 45 Allele, von denen jeweils zwei in einer Pflanze vorkommen, z. B. $S_{1,25}$ oder $S_{36,44}$ oder $S_{17,18}$. Zwei gleiche S-Allele, z. B. $S_{17,17}$, trifft man nie an, denn die Selbststerilität verhindert dies. Aber von den 45 verschiedenen S-Allelen kann man alle nur möglichen Paare mit verschiedenen Paarlingen bilden, und jedes S-Allel verhält sich zu jedem andern als homologes Allel. Diese Erscheinung nennt man multiple Allelie. Es liegt also bei *Oenothera organensis* eine Reihe von 45 multiplen Allelen vor. Die S-Allele scheinen stets in Form solcher Reihen vorzukommen.

Durch die genetischen Grundlagen der Sstt und die oben beschriebenen entwicklungsgeschichtlichen Verhältnisse beim Pollenschlauchwachstum der Sst ist die Frage gestellt, *wie die Sstt-Gene die Pollenschlauchentwicklung beeinflussen*. Dies ist der Inhalt der modernen Selbststerilitätsforschung.

Eine besondere Gruppe von Selbststerilen, die sog. Heterostylen, ließ zunächst vermuten, daß die *Hemmung des Schlauchwachstums physikalischer Natur* sei. Bei den Heterostylen kommen von einer Art, z. B. dem *Buchweizen*, nur *zwei* (lang- und kurzgrifflige), bei anderen, z. B. dem *Blutweiderich*, drei Gruppen von Sst vor. Es wäre möglich, daß z. B. die langgriffligen *Buchweizen* eine *Struktur im Leitgewebe* enthielten, die nur für die Pollen des kurzgriffligen passierbar wäre, und umgekehrt. Untersuchungen von Schoch-Bodmer (1945) an *Buchweizen*, *Blutweiderich* und *Linum* beweisen aber, daß eine solche Möglichkeit nicht realisiert ist. Weiterhin ließe sich denken, daß die *osmotischen Werte des Pollens und des Griffelgewebes* bei den beiden oder den drei Formen der Heterostylen so abgestimmt wären, daß die Wasseraufnahme durch den Pollen und damit die Keimung und das Wachstum nur auf dem anderen Typus stattfinden könnten. Auch darüber liegen Untersuchungen von Schoch-Bodmer vor. Sie finden zwischen den drei Formen des *Blutweiderichs* und den zwei des *Buchweizens keine Unterschiede der Griffel- und Pollensaugkräfte*. Für *Linum grandiflorum* fand Lewis (1943) allerdings Unterschiede in den osmotischen Werten: Bei der Kreuzung langgrifflig × kurzgrifflig ist das Verhältnis der osmotischen Werte von Pollen : Griffel 4 : 1, bei kurzgrifflig × langgrifflig ebenfalls 4 : 1. Bei der Selbstung eines Langgriffels liegt aber ein Verhältnis der osmotischen Werte von 5 : 2, bei der Selbstung eines Kurzgriffels ein solches von 7 : 1 vor. Nach Selbstung kann der Pollen entweder nicht keimen (Langgriffel), oder die Wasseraufnahme führt zum Platzen der Schläuche (Kurzgriffel).

Die Frage, ob die Unterschiede im Pollenschlauchwachstum bei Selbstung und Fremdung der Heterostylen ihre Grundlage in genisch bedingten Verschiedenheiten der physikalischen Zustandsgrößen besitzen, erscheint also noch nicht endgültig geklärt. Unmöglich kann jedoch ein derartiger Zusammenhang von Gen und Pollenschlauchwachstum dort vorliegen, wo durch das Vorhandensein einer großen Reihe multipler Allele eine noch größere Anzahl von Sstt-Klassen geschaffen ist. Bei diesen Sst muß *die Hemmung des Pollenschlauchwachstums durch spezifische chemische Stoffe hervorgerufen sein*. Es muß von dem Gen des Pollenschlauches eine spezifische stoffliche Wirkung ausgehen, die mit einer vom gleichen Gen des Leitgewebes ausgehenden spezifischen Wirkung so reagiert, daß das Pollenschlauchwachstum gehemmt wird.

„Hemmungsstoffe" des Leitgewebes glaubte Yasuda bereits 1934 bei sst *Petunien* gefunden zu haben. Preßsäfte aus Griffeln der Pflanze *A* wirkten bei Zusatz zu Pollenschlauchkulturen der Pflanze *A* in Rohrzuckerlösung *hemmend*. Preßsäfte von *A* in Kulturen der Pflanze *B* beeinflußten das Schlauchwachstum nicht. Die spezifischen Hemmstoffe waren nach Yasuda auch aus getrockneten Griffeln ausziehbar und in gekochten nachweisbar. Im Petuniengriffel werden die meisten Selbstschläuche bei etwa 10 mm Narbenabstand gehemmt, nur wenige wachsen weiter. Über 25 mm kommen keine hinaus. Yasuda stellte sich vor, der Hemmstoff diffundiere vom Fruchtknotengewebe nach der Narbe empor. Straub (1946) gelang die Reproduktion der Yasuda'schen Versuche bei sst *Petunien* trotz umfangreichster Bemühungen nicht. Leitgewebszusätze ergaben keine Hemmstoffwirkung. Weiter konnte Straub (1946/47) zeigen, daß die Selbstschläuche *in allen Teilen des Griffels in gleicher Weise gehemmt werden*. Der Wachstumsstillstand tritt auch in der obersten Griffelregion ein, wenn man die Schläuche zuvor *einen bestimmten Weg zurücklegen läßt*. Bei *Oenothera organensis* wies Emerson (1940) auf ganz anderem Wege, nämlich der *Griffelpfropfung*, nach, daß es keine diffundierenden Hemmstoffe gibt. Bei *Oenothera*, die einen 160 mm langen Griffel besitzt, wird der Selbstschlauch nur 5—10 mm lang. Trotzdem stellt diese oberste Griffelzone keine besondere „Hemmzone" dar. Denn wenn man ein oberes Narbengriffelstück von Pflanze *A*, die mit Pollen von *B* bestäubt ist, auf einen Griffel der Pflanze *B* pfropft, dann können die Pollenschläuche *B* im Griffel *B* stets nur 5—10 mm weit wachsen, ganz gleich auf welcher Griffelhöhe von *B* die Pfropfung ausgeführt wurde.

Aus den Versuchen von Emerson und Straub ergibt sich: Alle Griffelteile rufen die Wachstumshemmung hervor. Der Stillstand des Pollenschlauchwachstums erfolgt nach einer bestimmten Wachstumsstrecke. Es handelt sich bei den wirksamen Stoffen offenbar um sehr empfindliche. Sie verlieren außerhalb der Zelle entweder überhaupt ihre Wirksamkeit oder werden zum mindesten leicht zerstört.

Über die chemische Natur der an der Hemmung beteiligten Stoffe vermögen wir heute einige Hinweise zu geben. East, der Altmeister der Sstt-Forschung, hat schon 1929 eine recht plausible Erklärung für die stoffliche Grundlage der Sstt gefunden. In Analogie zu den Immunitätserscheinungen bei Tieren soll im Pollenschlauch mit dem Gen S_1 ein spezifisches Antigen vorhanden sein, das im Leitgewebe die Bildung eines Antikörpers hervorruft. Antigen und Antikörper reagieren miteinander unter Bildung eines das Pollenschlauchwachstum hemmenden Stoffes (Fig. 1). Experimentelle Befunde von Straub (1947) bei *Petunia* stellen jedoch die Gültigkeit der Immunitätstheorie der Sstt in Frage: Man kann bei *Petunia* die für die Selbstung typische Weglänge der Pollenschläuche leicht feststellen. Bestäubt man nun einen Griffel zweimal, und zwar so, daß eine Selbstung entweder auf eine Selbstung oder auf eine Fremdung folgt, so gelingt es mit Hilfe einer besonderen Technik, die Weglänge der Schläuche zu bestimmen, die aus der zweiten Bestäubung (= Selbstung) hervorgehen. *Jede zweite Selbstung zeigt weniger Hemmung* als eine einfache. Legt man die Immunitätstheorie zugrunde, so ist dieser Befund nur unter der Annahme erklärbar, die erste Selbstung nähme den Antikörper mehr oder weniger weg. Da aber auch eine *Fremdung* die ihr folgende Selbstung so beeinflußt, daß die Hemmung geringer wird, scheint ein anderes Prinzip vorzuliegen: Jeder Pollenschlauch muß, um

wachsen zu können, in das Leitgewebe einen Stoff abgeben, welcher dort eine Veränderung hervorruft, die der folgenden Bestäubung förderlich ist. Der Pollenschlauch besitzt diesen Wachstumsstoff in bestimmter Menge. Sein Verbrauch ist bei Fremdung so groß, daß der Schlauch mit gleichbleibender Wachstumsgeschwindigkeit die Eizelle erreicht. *Bei Selbstung ist der Verbrauch des Pollenschlauchstoffes (PS-Stoffes) erhöht,*

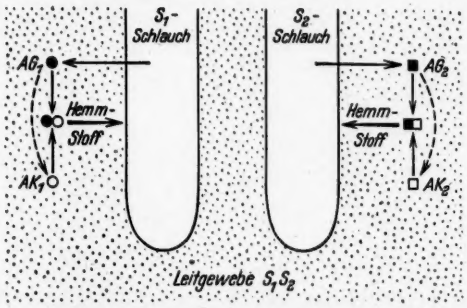

Fig. 1. Schematische Darstellung der E a s t 'schen Immunitätstheorie der Pollenschlauchhemmung bei Selbststerilen. Das spezifische Antigen (AG), welches vom Pollenschlauch abgegeben wird, ruft im Leitgewebe (gestrichelter Pfeil!) einen spezifischen Antikörper (AK) hervor. AG und AK vereinigen sich zu einem spezifischen Hemmstoff (Orig. Straub).

indem ein Teil von ihm durch Leitgewebsstoffe inaktiviert wird (Fig. 2). Die Hemmung hat also ihre Ursache im erhöhten Verbrauch des Wachstumsstoffes. Es wird kein Hemmstoff gebildet, sondern ein Wachstumsstoff inaktiviert. Nur unter dieser Annahme erklären sich die Ergebnisse von Messungen des Pollenschlauchwachstums in Griffelpfropfungen: Ein Pollenschlauch, der 20 mm weit als Fremdschlauch wuchs, wird hierauf als Selbstschlauch schon nach etwa 7 mm zum Stillstand gebracht, während er erst nach etwa 12 mm abgestoppt wird, wenn er zuvor nur 5 mm als Fremdschlauch zurückgelegt hat.

Die Doppelbestäubungen bei *Petunia* (S t r a u b 1947) machen es wahrscheinlich, daß die *Pollenschlauchstoffe enzymatischer Natur* sind. Damit trifft sich die Analyse ander sst *Petunia* mit ganz unabhängig davon ausgeführten Untersuchungen: S c h o c h - B o d m e r und H u b e r (1946) haben bei dem heterostylen *Lythrum salicaria*, das 3 selbststerile Formenklassen besitzt, das Pollenschlauchwachstum analysiert. Das Leitgewebe ist bei *Lythrum* ein fest zusammenschließendes Parenchym, dessen Zellen kollenchymatische Wandverdickungen tragen. Diese werden von den durchwachsenden Pollenschläuchen aufgelöst. Damit ist bewiesen, daß beim Pollenschlauchwachstum ein enzymatischer Vorgang stattfindet. S c h o c h - B o d m e r und H u b e r können einwandfrei zeigen, daß die Pollenschläuche das Enzym liefern. L e w i s hat bei *Oenothera organensis* Röntgenmutationen eines Sstt-Genes erhalten können. Aus dem Verhalten des mutierten S-Genes im Pollen bzw. Leitgewebe zu dem unveränderten S-Gen muß man den Schluß ziehen, daß „das S-Gen" aus *zwei* Teilen besteht, nämlich einem solchen, der für alle S-Gene einer Pflanzenart gleich ist, und einem zweiten, der für alle verschieden ist und die Spezifität ergibt. Auch dieser Befund weist eindringlich auf enzymatische Struktur der wirksamen Stoffe hin.

Der weitere Ausbau dieser neuen entwicklungsphysiologischen Ergebnisse der Sstt-Forschung erscheint vielversprechend. Nicht nur die Wirkung der Sstt-Gene dürfte klarer werden. Daneben sind durch die Analyse dieser Wachstumsprozesse allgemeine Einblicke in die Physiologie der Befruchtungsvorgänge höherer Pflanzen zu gewinnen. Schließlich aber hat ein neues Ergebnis der *Genetik der Sstt* es verlockend gemacht, die stofflichen Grundlagen der Wirkung von Sstt-Genen zu erforschen. S t o u t und C h a n d l e r (1941) fanden bei sst *Petunia*, daß sie selbstfertil wird, wenn man die Chromosomenzahl verdoppelt. S t r a u b (1941) fand unabhängig davon bei sst *Antirrhinum* das gleiche. Inzwischen hat sich die Erscheinung als weit verbreitet erwiesen. Bei *Oenothera organensis* (L e w i s, 1947 und früher) kann man sie feststellen, *Hederich, Klatschmohn, Linaria* und *Biscutella* (S t r a u b unveröff.) zeigen sie. Das Fertilwerden beruht darauf, daß bestimmte Pollenschläuche mit dem diploiden Chromosomensatz keine oder verminderte Hemmung aufweisen. L e w i s konnte für *Oenothera organensis* beweisen, daß in einer tetraploiden Pflanze $S_{2,2,4,4}$ mit den diploiden Pollen S_{22}, S_{24}, S_{44} nur die S_{24}-Schläuche im Leitgewebe durchwachsen, während S_{22} und S_{44} darin genau so stark gehemmt sind wie haploide Schläuche mit S_2 oder S_4 auf S_{24}-Griffeln (Fig. 3). *Die Gene* S_2 *und* S_4 *stören sich also gegenseitig, wenn sie im gleichen Kern vorhanden sind,* ihre Wirkung geht fehl, und die Hemmung tritt nicht ein. Bei *Petunia* kann man das gleiche auf andere Weise zeigen: Die Pflanze $S_{1,2}$ ist sst, $S_{1,1,2,2}$ selbstfertil. $S_{1,1}$- und $S_{2,2}$-Pflanzen, die man mit Hilfe eines Tricks unter Selbstung herstellen kann, sind sst., die tetraploiden Homozygoten $S_{1,1,1,1}$ und $S_{2,2,2,2}$ ebenfalls. Auch bei *Petunia* liegt also in den *heterozygoten diploiden Pollen eine „Competition" der Genwirkungen* vor (S t r a u b unveröff.). Die einzelnen S-Gene verhalten sich dabei gegeneinander ganz verschieden. Bei *Oenothera* werden nur Pollenkörner mit den Kombinationen S_{26}, S_{34} und S_{36} nicht gehemmt.

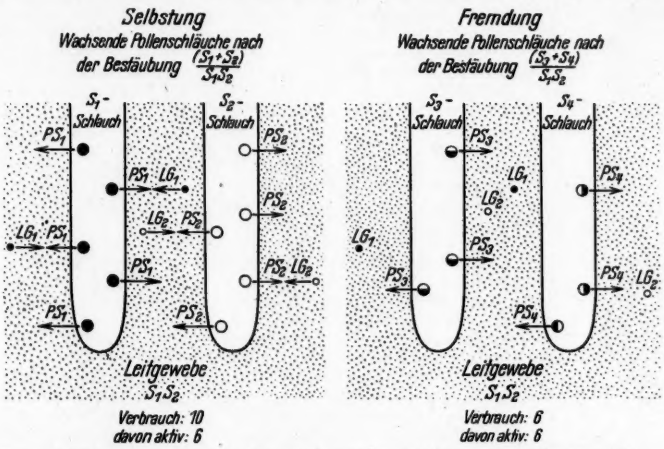

Fig. 2. Schematische Darstellung der „Verbrauchstheorie" des Pollenschlauchwachstums bei Selbststerilen. Die spezifischen PS-Stoffe der Pollenschläuche werden bei Selbstung durch spezifische Stoffe des Leitgewebes zum Teil unwirksam gemacht. Der Verbrauch an den Wachstumsstoffen ist daher bei Selbstung größer als bei Fremdung (Orig. Straub).

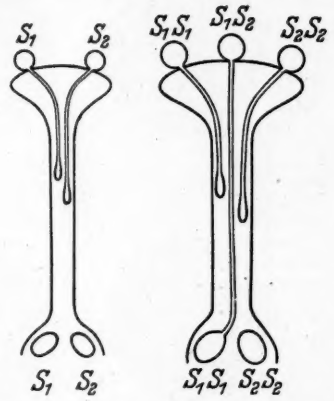

Fig. 3. Schematische Darstellung der Pollenschlauchhemmung in di- (links) und tetraploiden Petunien. Es liegen in beiden Fällen die gleichen S-Allele vor. Der Pollenschlauch mit den beiden verschiedenen S-Allelen ist ungehemmt (Orig. Straub).

Bei solchen mit S_{23}, S_{34} und S_{46} ist die Hemmung vorhanden (Lewis 1947).

Die Möglichkeit, verschiedene S-Gene in einer Tetraploiden zu vereinigen, führte zu einem weiteren interessanten genetischen Ergebnis. Die Pflanze $S_{2,3,4,6}$ bildet u. a. Pollenkörner mit S_{46}. Die entsprechenden Pollenschläuche wachsen in Griffeln von der Pflanze $S_{3,3,4,4}$ glatt durch und befruchten, obwohl Pollen und Leitgewebe das S_4-Allel besitzen. In Griffeln von $S_{2,3,6,6}$ werden S_{46}-Körner aber gehemmt. Für die Hemmung der Schläuche ist also hier das Gen S_6 maßgebend. Seine Wirkung dominiert über die von S_4 hinsichtlich der Hemmungsreaktion (Lewis 1947).

Die zuletzt dargestellten genetisch-entwicklungsphysiologischen Beobachtungen an Selbststerilen mögen als sehr spezielle gelten. Sie wurden aber dargestellt, um zu zeigen, wie hier durch multiple Allelie in Kombination mit der Polyploidie ganz einzigartige Genwirkungen zutage treten, die nicht nur für das Problem der Selbststerilität, sondern wohl auch für die allgemeine Genetik von Bedeutung sind. Die Analyse der stofflichen Zusammenhänge dieser Genwirkungen ist jetzt die vordringlichste Aufgabe. Ihre Lösung erscheint nach den oben dargestellten rein entwicklungsphysiologischen Ergebnissen erreichbar.

Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie, Hechingen-Hohenzollern.

Josef Straub.

Eingegangen am 15. April 1948.

East, E. M., Bibliogr. Genet. **5**, 331—370 (1929).
Emerson, St., Genetics **23**, 190—202 (1938).
—, Genetics **24**, 524—537 (1939).
—, Bot. Gaz. **101**, 890—911 (1940).
Lewis, D., Ann. Bot. **7**, 115—122 (1943).
—, Heredity **1**, 85—108 (1947).
Schoch-Bodmer, H., Arch. Jul. Klaus-Stiftg. Erg. Bd. zu **20**, 403—416 (1945).
Schoch-Bodmer, H., und Huber, P., Vierteljschr. Natf. Ges. Zürich **92**, 43—48 (1946).
Stout, A. B., a. Chandler, C., Science **94**, 118 (1941).
Straub, J., Ber. Dt. Bot. Ges. **59**, 296—304 (1941).
—, Zs. Natf. **1**, 287—291 (1946).
—, Zs. Natf. **2**, 433—444 (1947).
Yasuda, S., Bull. Imp. Coll. Agr. For. Morioka, Jap., **20** (1934).

Kurze Originalmitteilungen.

Über die Beseitigung der inkohärenten Streuung in elektronen-mikroskopischen Abbildungen und Elektronenbeugungsdiagrammen durch Elektronenfilter.

Nach einer vorangegangenen theoretischen Untersuchung[1]) würde die Beseitigung der inkohärenten Streuung durch geeignete Filter den Anwendungsbereich des Elektronenmikroskops und der Elektronenbeugungs-Methode erweitern.

So könnten die normalen, durch Streuabsorbtion verursachten, Kontraste im Elektronenmikroskop verstärkt werden, wenn die inkohärent gestreuten

Fig. 1a

Fig. 1b

Gefilterte Elektronenbeugungsdiagramme einer Blattgoldfolie (U = 35 eKV). Maximaler Geschwindigkeitsverlust der inkohärenten Streuung in Fig. 1a: $\Delta U_{max} \leq 150$ e-Volt, Fig. 1b: $\Delta U_{max} \leq 3$ e-Volt. Der Abbildungsmaßstab der Fig. 1a und 1b ist verschieden.

Fig. 2a

Fig. 2b

Gefilterte Elektronenbeugungsdiagramme einer Aluminiumoxydfolie (U=35 eKV). Fig. 2a: $\Delta U_{max} \leq 150$ e-Volt, Fig. 2b: $\Delta U_{max} \leq 3$ e-Volt.

Elektronen durch ein Filter ausgeschaltet würden. Eine Verstärkung der Kontraste wäre besonders bei Objekten aus leichten Atomen sehr erwünscht. Speziell für diese Objekte würde aber eine Filterung besonders wirksam sein, da das Verhältnis unelastische Gesamtstreuung zu normaler Streuabsorbtion bei niedrigen Ordnungszahlen besonders hoch ist. Der Kontrast z. B. von Wasserstoff könnte so ca. 12-fach verstärkt werden (λ = 0,05 Å, Objektiv-Apertur $\vartheta = 2.10^{-2}$). Die Filterung würde außerdem eine Verbesserung des Auflösungsvermögens des Elektronenmikroskops dann mit sich bringen, wenn das Auflösungsvermögen nicht durch die sphärische Aberration des Objektivs sondern durch die inkohärente Streuung und die chromatische Aberration begrenzt wird. Dies ist sicher der Fall bei der direkten Abbildung von Oberflächen durch Reflexion und streifenden Einfall und bei der Durchstrahlung hinreichend dicker Objekte und nicht ausgeschlossen bei der Durchstrahlung dünnster Objekte aus leichten Atomen.

Auch in Elektronenbeugungsdiagrammen würde die Ausfilterung der inkohärent gestreuten Elektronen (inkohärenter Untergrund) die Kontraste des Beugungsdiagramms (kohärente Streuung) verstärken und u. U. eine Beobachtung von Interferenzen überhaupt erst ermöglichen. Eine Filterung wäre also vor allem wirksam bei der Durchstrahlung dicker Präparate und für Kleinwinkelstreuung auch sehr dünner Präparate und bei streifender Beobachtung von Oberflächen.

Ein derartiges Elektronenfilter muß Elektronen zurückhalten können, die nur wenige e-Volt Geschwindigkeitsverlust erlitten haben, da die meisten elementaren Geschwindigkeitsverluste von dieser Größenordnung sind. Unter den verschiedenen experimentellen Möglichkeiten wurde die elektrostatische Gegenfeldmethode ausgewählt, trotzdem von verschiedenen Seiten große Bedenken gerade gegen diese Methode geäußert würden. Diese Methode hat den Vorteil, daß der experimentelle Aufwand sehr gering ist: unter anderem deshalb, weil bei elektrischer Koppelung zwischen Gegenfeldspannung und Beschleunigungsspannung die Hochspannung in weiten Grenzen schwanken darf, ohne auf einige Volt stabilisiert zu werden, wie es beispielsweise bei magnetischen Ablenkmethoden der Fall wäre.

Da kein Elektronenmikroskop zur Verfügung stand, wurden die ersten Versuche mit einer primitiven Elektronenbeugungs-Apparatur durchgeführt. Hier gelang es, für einen Filterdurchmesser von 15 mm alle Elektronen auszuscheiden, die Geschwindigkeitsverluste von nur 1—2 e-Volt erlitten hatten.

Die Beugungsobjekte der Fig. 1 und 2 waren so stark, daß bei etwa 35 ekV Durchstrahlungsspannung in dem üblichen Elektronenbeugungsdiagramm die Beugungsringe nur ganz schwach gegen den intensiven Untergrund kontrastierten. Auch ein Gegenfeld, das wie in Fig. 1a und Fig. 2a alle Elektronen zurückhielt, die einen Geschwindigkeitsverlust von mehr als etwa 150 e-Volt erlitten hatten, brachte noch keine wesentliche Verbesserung. Erst eine Geschwindigkeitsfilterung bis auf etwa 10 e-Volt hatte eine außerordentliche Kontraststeigerung zur Folge. Auch in den Wiedergaben Fig. 1b und 2b kommt eine Kontraststeigerung zum Ausdruck.

Der in Fig. 1b und 2b noch verbliebene Untergrund ist durch Störelektronen verursacht, die wahrscheinlich durch Umladung von Gasionen an oder in Nähe der Gegenspannungselektrode entstanden sind. Es ist anzunehmen, daß durch Verringerung des Gasdrucks von 10^{-4} mm Hg auf 10^{-5} mm Hg oder durch andere Maßnahmen eine weitere Verbesserung zu erzielen ist.

Tettnang (Württ.), Schillerstraße 3.

H. Boersch.

Eingegangen am 21. April 1948.

[1]) H. Boersch, Z. f. Naturforschung, 2a, 615 (1947).

Über den Einfluß der Gestalt organischer Moleküle und ihrer Lagerung im Kristall auf ihre Befähigung zu orientierter Abscheidung (Partiell-isomorphe Systeme IX). [1])

Durchmustert man das bisherige Gut an orientierten Abscheidungen (gesetzmäßigen Verwachsungen) organischer Substanzen auf Trägergittern verschiedenster Art, so findet man, daß sich bevorzugt solche organischen Substanzen orientiert abscheiden lassen, die die folgenden Bedingungen erfüllen:

1. Das einzelne Molekül (bzw. bei Assoziaten der Gitterbaustein) hat entweder ausgesprochen *linearen* oder *planaren Formtypus*. Kristallgitter, die sich aus

Fig. 1. 1,4-Dioxy-Naphtalin auf (001)-NaCl; 2 gleichwertige Stellungen. Nadelachse || [110].

mehr oder weniger unregelmäßig gestalteten Molekülen aufbauen, sind als Anwärter orientierter Verwachsungen recht selten.

2. Die einzelnen Moleküle (bzw. Gitterbausteine) sind im Kristallverband annähernd parallelkettig bzw. -schichtig angeordnet. Deutlich sperrige Anordnungen setzen die allgemeine Bereitschaft zur Bildung orientierter Verwachsungen stark herab.

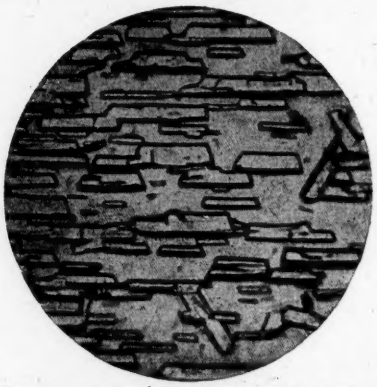

Fig. 2. 1,5-Dioxy-Naphtalin auf (1011)-$NaNO_3$; 3 Stellungen, davon eine stark bevorzugt.

3. Das einzelne organische Molekül besitzt entweder ein permanentes Dipolmoment oder ein induzierbares Moment (Partialmoment) mit Momentenachse bei linearem Formtyp des Moleküls *in* der Molekülachse, bei planarem Molekül *in* der Molekülebene. Im Verwachsungsverband weisen Dipol- bzw. Partialmoment ⊥ bzw. nahe ⊥ auf die Trägerebene; entsprechend stehen auch Molekülllangachse (bei linearem Molekül) bzw. Molekülebene (bei planarem Typ) ⊥ bzw. nahe ⊥ auf der Trägerebene.

4. Die die Verknüpfung mit dem Träger bewirkenden permanent- bzw. induziert-polaren Zentren der Aufwachsungssubstanz besetzen im eignen Kristallverband eine *niedrig-indizierte*, also dicht besetzte Netzebene, deren Metrik jener der Trägerebene analog oder polymeranalog ist[2]). Entsprechend sind *auch als Trägerebenen* ganz allgemein *niedrig-indizierte Ebenen*, insbesondere Spaltebenen und Schichtebenen aller Schicht- und schichtartigen Gitter, vor anderen nicht nur stark bevorzugt, sondern aus energetischen Gründen wohl allein möglich (da die Keimbildungserleichterung mit steigender Indizeshöhe stark abfällt und sehr bald den für einen Impfeffekt nötigen Arbeitsbetrag unterschreiten dürfte).

Mit Hilfe dieser Leitsätze wurden ohne besondere Mühe zahlreiche neue Orientierungsbeispiele aufgefunden (meist auf sublimativem Wege) und ihre Verwachsungsgesetze dargelegt. Beispiele:

1. Planarer Formtypus des Aufwachsungspartners.

5,7-Dibrom-8-Oxychinolin auf NaCl, Baryt, Calcit, Glimmer, Fluorit, PbS und Sb_2S_3.

1,4-1,5-2,7-Dioxy-Naphtalin auf anorganischen Trägergittern verschiedenster Bindungsart (s. Fig. 1 und 2).

β-Naphtochinon auf NaCl, Baryt, $NaNO_3$, Sb_2S_3 und PbS.

Bernsteinsäureanhydrid auf NaCl, $NaNO_3$, ZnS und ged. Silber.

1,4-Oxychinolin, 1-Nitronaphtalin, 3-Methylindol, Isatin, Fluoreszein, Benzochinon, Hexachlorbenzol u. a. auf Rohrzucker ([3,4]).

2. Linearer Formtypus des Aufwachsungspartners.

p-Amido-Phenol auf NaCl, Baryt, Glimmer, $NaNO_3$;
p-Aminobenzoesäure auf NaCl, KCl;
p-Nitrobenzoesäure auf Glimmer, ZnS;
m-Nitrobenzoesäure auf NaCl, $NaNO_3$;
m-Nitro-*o*-*Cl*-Benzoesäure auf NaCl, PbS, $NaNO_3$;
m-Phenylendiamin auf NaCl, KCl, $CaCO_3$, $NaNO_3$;
p-Nitrophenol, *p*-Amidobenzoesäure, β-Bernsteinsäure, 1-Oxy-Anthrazen u. a. auf Rohrzucker.

Bei müheloser Orientierbarkeit war das verwachsende (= affine) Netzebenenpaar im allgemeinen durch *eine Gitterrichtung dichtester Packung* und zugleich bester metrischer Übereinstimmung gekennzeichnet (Abweichungen kleiner als 3%), neben anderen mit weit weniger dichter Packung und größerer metrischer Toleranz (bis 10%). Erstere Gitterrichtung bewirkt und dirigiert dann die Keiminduktion (impfbeherrschende Gitterlinie) und bedingt damit zugleich den so außerordentlich häufigen *morphologischen Nadelhabitus* des Aufwachsungspartners (Nadelachse stets // zur impfbeherrschenden Gitterlinie). Isometrischer Habitus des aufwachsenden Partners ist im allgemeinen somit nur dann zu erwarten, wenn das affine Netzebenenpaar mehrere gleichwertige bzw. nahe gleichwertige „impfbeherrschende Gitterlinien" besitzt, wie z. B. bei Verwachsung zweier kubischer Partner nach der Würfel- bzw. Oktaederfläche. Alle übrigen morphologischen Varianten liegen zwischen diesen beiden morphologischen und damit strukturellen Extremen.

In weiterer Auswertung des gesamten Untersuchungsgutes gesetzmäßiger Verwachsungen *organischer Stoffe* mit Trägergittern aller Stoffklassen wurden auch die *verknüpfenden Kräfte* einer generellen Betrachtung unterzogen. Hierzu wurde in Erweiterung eines früheren Ansatzes ([5—9]) eine zweckmäßige Bezeichnungsweise für die zwischen Verwachsungspartnern möglichen Wechselwirkungsenergien eingeführt und auf dieser Grundlage die bisher verwirklichten *energetischen Verwachsungstypen* gekennzeichnet, sowie die Berechnung der verschiedenen Wechselwirkungsenergien auf molekulartheoretischer Grundlage gegeben.

T. H. Darmstadt, Minerolog. Institut.

A. Neuhaus.

Eingegangen am 9. März 1948.

[1]) Selbstreferat einer gleichnamigen größeren Abhandlung, die am 27. 6. 44 an die Monatshefte f. Min. Abt. A eingereicht wurde und deren Korrekturfahnen seit 10. 10. 45 bei der Heidelberger Akademie d. Wiss. hinterlegt sind.

[2]) Neuhaus, A., N. Jahrb. f. Min. Monatshefte 159 (A) (1943).
[3]) —, Z. Elektrochem. (Im Druck seit 1944).
[4]) —, Z. Kristallogr. **105** (A) 187 (1943).
[5]) —, Angew. Chem. **54**, 525 (1941).
[6]) —, N. Jahrb. f. Min. Monatshefte 189 (A) (1943).
[7]) —, Die Naturwiss. 387 (1943).
[8]) —, Z. Phys.-Chem. **192**, 309 (1943).
[9]) —, Die Naturwiss. H. 5/8 (1944).

Zur Theorie der photosensibilisierten Reaktion mit molekularem Sauerstoff.[1])

Die eigenartige Wirkungsweise der Sensibilisatoren bei den durch fluoreszierende Farbstoffe photosensibilisierten Reaktionen zwischen O_2 und Akzeptoren A in Lösung kann meines Erachtens nicht als einfache Übertragung von Anregungsenergie auf A oder O_2 aufgefaßt werden. Zur Klärung dieser Frage unternahm ich vergleichende Untersuchungen über im Lichte erfolgende Reaktionen zwischen A und O_2 in Gegenwart und in Abwesenheit von Photosensibilisatoren (z. B. Eosin, Fluoreszein, Chlorophyll usw.). Dabei ergab sich die prinzipielle Verschiedenheit der verglichenen Reaktionen, für deren Eintreten nicht die gleichen Voraussetzungen der Konstitution gelten, und die nur in besonderen Fällen zu den gleichen Reaktionsprodukten führen.

Zum Beispiel ergab sich folgendes Bild:

Autoxydation von 2,5-Dimethylfuran.

	unsensibilisiert	sensibilisiert mit Eosin
O_2-Aufnahme	0,5 O_2/Mol	
Reaktionsprodukte	Fur. O; 50% α, β-Diacetyläthylen, wenig Peroxyd $(FurO)_2$.	Fur. O_2; nur ozonidartiges Peroxyd durch Diensynthese mit O_2, Diacetyläthylen auch in Spuren nicht nachweisbar.
Kinetik	typische Kettenreaktion Quantenausbeute über 35.	Quantenausbeute < 1.

Soweit die an über 50 untersuchten organischen Verbindungen gewonnenen Erfahrungen bereits gewisse Regelmäßigkeiten erkennen lassen, kann über die photosensibilisierte Oxydation folgendes gesagt werden:

1. Konjugene addieren im allgemeinen O_2 unter Bildung von Peroxyden vom Typ C-O-O-C. Diese Addition erfolgt sehr häufig nach Art einer Diensynthese, z. B. bei Furanen unter Bildung von Peroxyden vom Ozonidtyp.

2. Mono-Olefine bzw. Olefine mit isolierten Doppelbindungen reagieren zu Hydroperoxyden C-O-O-H, die durch Addition des O_2 an die Doppelbindung und Wanderung eines H-Atoms der Allylstellung an den Sauerstoff unter Verschiebung der Doppelbindung entstehen. So sind die Hydroperoxyde der sensibilisierten und nicht sensibilisierten Autoxydation des Cyclohexens miteinander identisch, des α-Methylcyclohexens dagegen nicht miteinander identisch, während so leicht autoxydable Verbindungen wie Tetralin, Indan, auch Dekalin usw. in Gegenwart des Sensibilisators (Fehlen der olefinischen Doppelbindung) nicht mit O_2 reagieren.

3. Die photosensibilisierte Reaktion mit O_2 ist nicht auf nur eine bestimmte Atomkombination spezifisch eingestellt. Analoge Umsetzungen, z. B. mit Maleinsäureanhydrid an Stelle von O_2, werden durch Belichtung in Gegenwart von Sensibilisatoren nicht gefördert.

4. Es besteht eine sehr hohe Spezifität der Sensibilisatorwirkungen für Reaktionen mit O_2. Soweit Reaktionen angeregter Sensibilisatoren in Abwesenheit von O_2 zu beobachten sind, werden diese durch O_2 inhibiert. Fast alle photosensibilisierten Reaktionen in Lösung sind solche mit O_2; zu nennen sind außer den Reaktionen mit Konjugenen, Furanen, Pyrrolen, Olefinen, Aldehyden, Aminen, Phenolen usw. die sogenannten photodynamischen Erscheinungen, die durch fluoreszierende Farbstoffe hervorgerufenen Lichtkrankheiten und die Biosynthese des Askaridols in Chenopodium anthelminticum.

Alle Beobachtungen vereinigen sich zum Beweise der Forderung, daß der angeregte Sensibilisator auf O_2 und nicht (in Ggw. v. O_2) auf A einwirkt. Den gleichen Schluß hat H. Kautsky[2]) aus der Tilgung der Fluoreszenz durch Sauerstoff gezogen und als Aktivierung von O_2 zu einem metastabilen O_2^{ε} interpretiert.

Für die entgegengesetzte, auf H. Gaffron zurückgehende, von K. Weber[3]) vertretene Auffassung, daß bei den photosensibilisierten Oxydationen nicht O_2, sondern immer A durch die vom Sensibilisator übertragene Lichtenergie aktiviert werde, spricht kein Experiment.

Die Wirkung des Photosensibilisators und zugleich die Fluoreszenzlöschung durch O_2 beruht auf einer chemischen Reaktion des angeregten Sensibilisators mit O_2[4]), d. h. der normalerweise gegen O_2 indifferente Sensibilisator geht durch Licht in eine gegenüber O_2 reaktionsfähige Substanz über.

Bereitschaft zur Dunkelreaktion mit O_2 ist für organische Radikale charakteristisch. Diese können nach K. Ziegler und L. Ewald[5]) auf andere Verbindungen O_2 übertragen. Entsprechend meiner Erwartung geht der Sensibilisator durch das absorbierte Lichtquant in ein gegenüber O_2 reaktionsfähiges Radikal, nach seiner Entstehung ein Diradikal, über. Diese Vorstellung wird vorzüglich gestützt:

1. Durch die Beobachtungen, daß beim Belichten von Anthrazen in Abwesenheit von O_2 ein Dimeres[6]), in Gegenwart von O_2 ein Photoperoxyd[7]) entsteht. Diese Reaktionen sind nur als Reaktionen photochemisch gebildeter Radikale zu deuten.

2. Durch die Beobachtung von G. N. Lewis und M. Calvin[8]), daß Fluoreszein durch Belichtung (nach G. N. Lewis und M. Kasha[9]) durch Übergang in ein Diradikal!) paramagnetisch wird, und daß dieser Effekt durch O_2 gestört wird.

3. Durch quantentheoretische Überlegungen von Th. Förster[10]), wonach fluoreszierende Farbstoffe durch Licht in einen metastabilen Diradikalzustand übergehen.

So ergibt sich folgendes Bild der photosensibilisierten Reaktion mit molekularem Sauerstoff[11]):

1. Der Sensibilisator S_{norm} geht durch Aufnahme eines Lichtquants $h\nu$ in das phototrop-isomere Diradikal S^{rad} über.

2. S^{rad} addiert O_2 zu einem labilen $S^{rad} \cdots O_2$[12]).

3. $S^{rad} \cdots O_2$ gibt mit A den Stoßkomplex $[S^{rad} \cdots O_2 \cdots A]$.

4. Das im Stoßkomplex enthaltene S^{rad} geht unter Energieabgabe an AO_2 in S_{norm} über und wird abgespalten.

5. Das so entstandene energiereiche AO_2 stabilisiert sich unter Abgabe von Wärme zu AO_2, soweit nicht AO_2 endotherm ist.

Da S_{norm} gegen O_2 indifferent ist, wird ein weiteres O_2 durch den Sensibilisator erst nach neuerlicher Aufnahme eines Lichtquants übertragen. Die photosensibilisierte Reaktion zwischen A und O_2 kann also gegenüber einer zwischen diesen Reaktionsteilnehmern gedachten Dunkelreaktion um den Betrag der absorbierten, photochemisch nutzbaren Energie, also etwa um den Betrag der Fluoreszenz- bzw. wahrscheinlicher der Phosphoreszenzenergie des Sensibilisators endotherm sein.

Wie weit das hier zugrunde liegende Prinzip einer gekoppelten Reaktion beim endothermen Aufbau organischer Verbindungen in der belebten Natur Bedeutung besitzt, bedarf der Prüfung. Die von H. Kautsky[13]) geforderte Mitbeteiligung des Sauerstoffs im Geschehen der Assimilation der Kohlensäure wird durch meine Versuche gestützt.

Ausführliche Mitteilung meiner Ergebnisse erfolgt an anderer Stelle. Von den skizzierten Ergebnissen ausgehend, werden auch andere Probleme, insbesondere der Photochemie und der Reaktionen mit O_2, bearbeitet.

Heidelberg. Günther O. Schenck.

Eingegangen am 4. März 1948.

[1]) 5. Mitteilung über Autoxydation in der Furanreihe; 4. Mitteilung: Chem. Ber. im Druck.

[2]) Kautsky, H., Ber. Dtsch. Chem. Ges. **64**, 2677 (1931).
Kautsky H. u. de Bruijn, H., Naturwiss. **19**, 1043 (1931).
[3]) Weber, K., Ber. Dtsch. Chem. Ges. **69**, 1026 (1936).
Weber, K., Inhibitorwirkungen, Ferd. Enke Verlag, Seite 78, 108, Stuttgart (1938).
Gaffron, Ber. Dtsch. Chem. Ges. **60**, 2229 (1927).
Gaffron, H., Biochem. Zeitschr. **264**, 251 (1933).
[4]) Als Vermutung ausgesprochen in meiner Habilitationsschrift Halle a. S. (1943).
[5]) Ziegler K. u. Ewald, L., Annalen **504**, 162 (1933).
[6]) Fritzsche, J., Journ. prakt. Chemie **101**, 337 (1867); **106**, 274 (1869).
[7]) Dufraisse, Ch. u. Gerard, M., Compt. rend. **201**, 428 (1935).
Dufraisse, Ch. u. Etienne, A., Compt. rend. **201**, 280 (1935).
[8]) Lewis, G. N. u. Calvin, M., J. Amer. Chem. Soc. **67**, 1232 (1945).

[9]) Lewis, G. N. u. Kasha, M., J. Amer. Chem. Soc. **66**, 2100 (1944); **67**, 994 (1945).
Eistert, Hr. B. machte mich freundlicherweise auf die zitierten Arbeiten von Lewis und Mitarbeitern aufmerksam in einer Diskussionsbemerkung zu meinem Vortrag am 17. Februar 1948 vor der Chemischen Gesellschaft Heidelberg.
[10]) Förster, Th., Naturwiss. **33**, 220 (1946).
[11]) Schenck, G. O., vorläufige Mitteilung für FIAT-Review September (1946).
[12]) Spaltung in $S_{norm} + O_2^g$ könnte die Bildung des von Kautsky H.[3]), nachgewiesenen gasförmigen metastabilen Sauerstoffs erklären.
[13]) Erstmals Kautsky, H., Hirsch, A. u. Davidshöfer, F., Ber. Dtsch. Chem. Ges. **65**, 1762 (1932).

Die „Retentionsanalyse", eine quantitative Ultramikromethode.

Ultramikrobestimmung von Aminosäuren.

Läßt man eine Lösung von einem Ende her in einem Streifen aus ungeleimtem Papier sich einsaugen, so dringen die gelösten Moleküle in einer zur Saugrichtung senkrechten Front vor. Stößt ein Teil davon auf ein Hindernis (in Form einer Substanz, mit der eine genügend rasch verlaufende Reaktion vor sich geht), so bleibt er gegenüber dem daneben unbehindert vorbeiziehenden Anteil zurück. Es entsteht hier eine Lücke. An der Hindernisstelle setzt das Vordringen erst ein, wenn die Störmoleküle abreagiert haben. Die Fläche der Frontlücke stellt also ein Maß für die Anzahl der Hindernismoleküle dar.

Wir haben diese Überlegung zunächst an Aminosäuren auf ihre Richtigkeit geprüft, die als kleine Tropfen ihrer 0,1—1%igen Lösungen in Wasser auf einen etwa 7 cm breiten und ebenso langen Streifen aus gehärtetem Filtrierpapier (Schleicher und Schüll, Selecta 575) 1 cm über den unteren Rand gebracht wurden. Zur Reaktion wurde der Streifen senkrecht etwa 3 mm tief in eine 0,1%ige Lösung von *Kupferacetat* in 10% wasserhaltigem Tetrahydrofuran eingetaucht. Diesem war zur Vermeidung einer Trübung durch basisches Acetat die eben nötige Menge Eisessig zugesetzt. Um einen „Wasserfehler" auszuschalten, der dadurch zustande kommt, daß auch die eingetrockneten Tropfen der wäßrigen Analysenlösung einen etwas höheren Wassergehalt aufweisen als das fabrikfrische Filterpapier, so daß darin Cu-Ionen angereichert und zurückgehalten werden, behandelten wir das Papier durch Eintauchen in Wasser und Trocknenlassen an der Luft vor.

Nachdem im Lösungsmittel-gesättigten Exsiccator die Cu-Lösung etwa 5 cm hoch gestiegen war, wurde der Streifen kurz an der Luft getrocknet und mit einer 0,1%igen Lösung von *Rubeanwasserstoff* (Dithiooxalsäurediamid) in 10% wasserhaltigem Aceton besprüht („entwickelt" und „fixiert"). Man erkannte nun scharf die durch mehr oder weniger große Lücken unterbrochene, von Cu-rubeanat stark gedunkelte Fläche. Die Konzentrationen der 5 gleichgroßen, etwa 500 γ wiegenden Tropfen in Fig. 1 waren (von links nach rechts) 0, 0,25, 0,33, 0,40 und 0,50% Glycin (also 0—2,5 γ Aminosäure), die planimetrisch ermittelten Inhalte der entsprechenden dreiecksförmigen Lücken 0, 0,23, 0,31, 0,39 und 0,50 ± 0,02 cm².

Fig. 1.

Retentionsanalytisch lassen sich auch kleinste Mengen der Kupferkomplexe von Aminosäuren bestimmen. Als Reagens dient hierbei eine 0,05%ige Lösung von Rubeanwasserstoff in Formamid/Aceton (1 : 2), die man über die durch Räuchern mit Eisessig zerlegten Komplexe aufsteigen läßt.

Kaiser-Wilhelm-Institut für Medizinische Forschung, Institut für Chemie, Heidelberg, und
Organisch-chemisches Institut der Universität Mainz.
Theodor Wieland und Edgar Fischer.

Eingegangen am 28. April 1948.

Über Elektrophorese auf Filtrierpapier.

Trennung von Aminosäuren und ihren Kupferkomplexen.

Eine sehr einfache Apparatur zur Elektrophorese kleinster Mengen besteht aus einem mit Pufferlösung getränkten, etwa 1 cm breiten und 20 cm langen Filterpapierstreifen (z. B. Schleicher und Schüll, „Selecta" 575), der in einer aus zwei Glasplatten (5 × 12 cm) und zwei zwischen ihnen liegenden Glas- oder Kunststoffrahmen gleichen Formats von 1 cm Randbreite gebildeten Kammer gespannt wird. Der Streifen hängt mit beiden Enden aus der Kammer in je eine Petrischale, die mit demselben Puffer gefüllt ist und in die jeweils eine unten mit Gips verschlossene, etwa 1 cm weite Glasröhre eintaucht. Diese enthält den gleichen Puffer und die Elektrode, die z. B. aus Zink oder Graphit bestehen kann. Beim Anlegen einer Spannung von 110 V Gleichstrom fließt durch den Apparat ein Strom von wenigen mA. Hat man auf die Mitte des feuchten Streifens einen Mikrotropfen einer zu analysierenden Elektrolytlösung gebracht, so beobachtet man, daß schon nach einer Stunde die Ionen ziemlich kompakt ungefähr 1—2 cm auseinander gewandert sind.

Für die folgenden Versuche wurde Acetatpuffer ($m/10$) verwendet.

1. Bei p_H 5 · 0 trennt sich eine Mischung von Glutaminsäure, Alanin und Histidin in einer Stunde, in drei, etwa 1 cm voneinander entfernte Flecken, von denen der anodische Glutaminsäure, der nicht gewanderte Alanin und der kathodische Histidin darstellt.
2. Bei p_H 7 · 5 läßt sich Lysin zur Kathode treiben, während Histidin isoelektrisch zurückbleibt.
3. Bei p_H 3 · 7 gelingt, allerdings erst in zwei Stunden, die Trennung der Glutaminsäure von Asparaginsäure, da bei diesem p_H Glutaminsäure isoelektrisch ist, Asparaginsäure aber noch als Anion wandert.

Die Sichtbarmachung der Aminosäureflecken geschah nach dem Trocknen des Streifens im Heizschrank (110°), Baden in Aceton + 10% Formamid und anschließendem Trocknen an der Luft durch Aufsteigenlassen einer 5%igen Lösung von Cu-acetylacetonat in Chloroform. Dabei findet, wie wir gefunden haben, eine quantitative Reaktion zu den Cu-Komplexen der Aminosäuren statt. Das überschüssige Kupferreagens wird durch dreimaliges Aufsaugen von reinem Chloroform bis auf ganz geringe Spuren entfernt. Nach Besprühen mit einer 1%igen Lösung von Rubeanwasserstoff in Aceton werden die Aminosäuren als tiefdunkle Flecken deutlich sichtbar. Zur *quantitativen* Bestimmung kann man nach dem Ausschneiden und Extrahieren mit kochender 10%iger Schwefelsäure das Cu^{++} nach Überführung in seine Komplexverbindung mit Diphenylthiocarbazon („Dithizon") colorimetrieren oder den unbehandelten Streifen, der dann allerdings eine größere Breite haben muß, quer zur Elektrophoreserichtung mit Cuacetat in Tetrahydrofuran retentiometrisch auswerten[1]).

Die *Kupferkomplexe* der sauren, neutralen und stark basischen Aminosäuren lassen sich ebenfalls elektrophoretisch trennen, da bei neutraler Reaktion die Kupferverbindungen von Glutaminsäure und Asparaginsäure als Anionen, die von Lysin und Arginin als Kationen und die der neutralen Aminosäuren als Neutralkörper vorliegen. Es werden aber die Verhältnisse bei Anwesenheit von Histidin-Cu komplizierter. Diese Verbindung reagiert nämlich, als einzige untersuchte, anscheinend mit anderen Aminosäure-Cu-komplexen:

$$\left.\begin{matrix}\text{Histidin}\\ \text{Histidin}\end{matrix}\right\}\text{Cu} + \left.\begin{matrix}\text{Aminosäure}\\ \text{Aminosäure}\end{matrix}\right\}\text{Cu} \rightleftharpoons 2\left.\begin{matrix}\text{Histidin}\\ \text{Aminosäure}\end{matrix}\right\}\text{Cu}$$

So beobachtet man nach der Elektrophorese eines Gemisches von Histidin- mit Lysin-Cu bei p_H 7,5 nach Rubeanwasserstoffbehandlung an Stelle von zwei drei Cu-salzflecken in gleichem Abstand, von denen der weniger weit zur Kathode gewanderte das Misch-ion darstellen dürfte, das beim Versuchs-p_H nur **eine** positive Ladung trägt, während Lysin-Cu mit **zwei**

positiven Ladungen um eine Einheit weiter in den Kathodenraum gewandert ist. Das Gleiche gilt mit umgekehrtem Vorzeichen für das Paar Histidin-Cu-Glutaminsäure-Cu.

Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg, Institut für Chemie und Organisch-chemisches Institut der Universität, Mainz.

Theodor Wieland und Edgar Fischer.

Eingegangen am 15. Mai 1948.

[1]) Wieland, Th., und Fischer, s. vorangehende Notiz.

Zur Frage des Determinationszustandes von Regenerationsblastemen.

Die Frage, ob das junge Regenerationsgewebe einer amputierten Amphibienextremität ein zunächst noch „omnipotentes", undeterminiertes Material darstellt, das erst durch einen Induktionsvorgang von den darunterliegenden differenzierten Geweben des Stumpfes zu seiner Entwicklung bestimmt wird, ist trotz zahlreicher Arbeiten auf diesem Gebiet noch umstritten. Die Beobachtung älterer Autoren (cit. nach Spemann 1937), daß junge Extremitätenblasteme von Urodelen nach Transplantation in die Schwanzregion sich dort ortsgemäß zu Schwänzen entwickeln, und umgekehrt, wird von neueren Untersuchern (Poleżajew 1934, Mettetal 1939) durch Invasion von Wirtsmaterial erklärt. Eine Prüfung dieser Frage ist möglich dadurch, daß die Beteiligung von Wirtsgeweben am Aufbau des Regenerates durch Röntgenbestrahlung des Wirtes vor der Operation ausgeschlossen wird. Bei Larven von *Salamandra maculosa* genügt schon eine Röntgendosis von 600 bis 1000 *r*, um eine fast völlige Lähmung aller Zellteilungsvorgänge hervorzurufen (Luther 1939). Die vegetativen Zellvorgänge (Drüsensekretion, Wundverschluß durch auswandernde Zellen, Häutung usw.) gehen dabei unverändert weiter. Wenn die Determination der Regenerationsknospe tatsächlich durch irgendwelche extrazellulären Induktionsfaktoren erfolgt, wie wir sie bei den frühembryonalen Determinationsvorgängen kennen, so müßte erwartet werden, daß diese Induktionsfaktoren auch dann wirken, wenn ein aus unbestrahltem Gewebe entstandenes Blastem auf einem bestrahlten Stumpf heranwächst.

Die Versuche wurden in der Weise durchgeführt, daß bei Larven von *Salamandra maculosa* ein etwa 1 cm langes Stück des Schwanzes (vom After bis etwa zur Schwanzmitte) enthäutet und mit einem „Strumpf" aus Bauchhaut oder Fußhaut einer gleichalten Larve überzogen wurde. Ein Teil der so operierten Larven war einige Tage vor der Operation mit einer Röntgendosis von 1500 *r* bestrahlt und damit regenerationsunfähig gemacht worden. Nach vollständiger Einheilung (2—3 Wochen) wurde der Schwanz in der Mitte des Operationsfeldes amputiert. Das Ergebnis dieser zunächst nur an wenigen Tieren als Vorversuch durchgeführten Experimente war durchaus eindeutig. Unbestrahlte Tiere mit transplantierter Rumpfhaut regenerierten normal lange Schwänze mit Flossensäumen. Interessanterweise beginnt der neugebildete Flossensaum jedoch nicht unmittelbar an der Amputationsstelle, sondern erst ziemlich weit distal von dieser, am Ende des Regenerates. Der proximale Teil des regenerierten Schwanzes ist drehrund, ohne Flossensaum, und geht ohne sichtbare Grenze in das alte Gewebe des Stumpfes über (Fig. 1a). Die Epidermiszellen des Regenerates, die ja von der transplantierten Rumpfepidermis abstammen, können sich also nicht unmittelbar auf die von der regenerierenden Unterlage ausgehenden Formbildungsreize umstellen, sondern es sind dazu mehrere Zellgenerationen erforderlich. Erst wenn das Material durch wiederholte Zellteilung und durch die zunehmende Entfernung vom Ausgangsmaterial genügend unspezifisch geworden ist, kann der Einfluß der neuen Umgebung sich durchsetzen.

Rumpfhauttransplantate auf bestrahlter Unterlage liefern nur kleine ungeformte Regenerationskegel, die sich nicht weiter entwickeln. Dieser Befund ist jedoch nicht spezifisch, denn auch unbestrahlte Schwänze regenerieren nicht, wenn die Wirbelsäule mit dem Rückenmarkstrang eine Strecke weit extirpiert wird (Fig. 1b). Das zurückbleibende Muskel- und Bindegewebe ist offenbar nicht imstande, die fehlenden Achsenorgane neu zu bilden, im Gegensatz zu den Extremitätenknochen, die bekanntlich im Regenerationsblastem neu gebildet werden, auch wenn die Knochen des Amputationsstumpfes völlig entfernt wurden (Weiss 1925). Das Vorhandensein der Achsenorgane ist jedoch, wie es scheint, notwendig für eine normale Streckung des regenerierenden Schwanzes. Wird durch die Bestrahlung das Auswachsen der Achsenorgane verhindert, so unterbleibt, ebenso wie nach Wirbelsäulenextirpation, die Ausbildung eines normalen Regenerates.

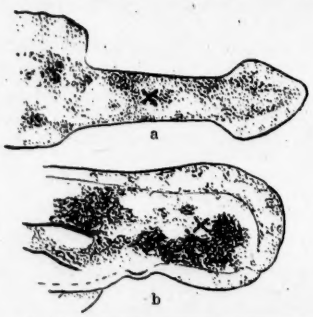

Fig. 1a). Schwanzregenerat einer Salamanderlarve mit transplantierter Rumpfhaut. X = Amputationsstelle. Der Flossensaum des Regenerates beginnt erst in einigem Abstand vom Ausgangsmaterial. b) Ausbleiben der Schwanzregeneration nach Extirpation von Wirbelsäule und Rückenmark. X = Grenze, bis zu der die Achsenorgane entfernt wurden. Der Flossensaum hat sich um den Amputationsstumpf geschlossen.

Amputationsstümpfe, die vor der Operation mit Fußhaut überzogen worden waren, lieferten bei unbestrahlten Tieren ein chimärisches Regenerat. Die Umstellung der Epidermiszellen auf ihre neue Umgebung gelingt in diesen Fällen nur unvollständig. Es entsteht ein annähernd normal langer Schwanz, der jedoch an Stelle eines Flossensaumes nur eine ziemlich kompakte Hautfalte trägt, in der sich deutlich die 4 Finger einer Vorderextremität abzeichnen (Fig. 2 c). Es ist hier offenbar zu einer Kompromißbildung zwischen den Entwicklungspotenzen der Unterlage und des transplantierten Gewebes gekommen.

Am interessantesten sind die Regenerate von Fußhaut-Transplantaten auf einen bestrahlten Schwanz. Das Wirtsgewebe ist in diesem Falle regenerationsunfähig. Es bildet sich nun aus dem subcutanen Bindegewebe des Transplantates ein Regenerationsblastem, das seiner Herkunft entsprechend einen vollständigen Fuß mit Kniegelenk, 5 Fingern, Knochen, Muskeln usw. aus sich hervorgehen läßt (Fig. 2a, b). Mit dem Aufhören der Regenerationsfähigkeit der Unterlage ist also auch jeder determinierende Einfluß derselben auf das Blastem verschwunden. Dieses erweist sich als streng herkunftsgemäß determiniert, trotzdem sein Blut- und Nervenversorgung vom Schwanzstumpf aus erfolgen muß. Dabei ist das Regenerationsmaterial hinsichtlich seiner *histologischen* Differenzierungsfähigkeit noch durchaus omnipotent: alle die verschiedenen Bestandteile einer Extremität, Muskeln, Knochen, Gefäße usw., können von ein und demselben Ausgangsmaterial durch metaplastische Umstimmung

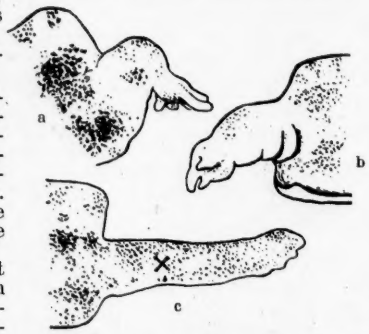

Fig. 2a) und b). Vollständige regenerierte Füße auf dem Amputationsstumpf eines bestrahlten Schwanzes, entstanden aus transplantierter Fußhaut. c) Kompromißbildung aus einem unbestrahlten Schwanzstumpf mit transplantierter Fußhaut. X = Amputationsstelle. Regenerat mit angedeuteten Zehen im Flossensaum.

gebildet werden — aber nur innerhalb des durch die Herkunft festgelegten Organkomplexes „Extremität". Der Versuch zeigt, daß man unterscheiden muß zwischen den „histogenetischen Potenzen" des Regenerationsmaterials, die, wie wir sehen, recht vielseitig sein können, und den „morphogenetischen Potenzen", die wenigstens im Bereiche der Organkomplexe „Schwanz bzw. Extremität" irreversibel festgelegt zu sein scheinen. Wenn man annimmt, daß die Determination einer Gewebszelle durch bestimmte im Plasma oder Zellkern gelegene Strukturen oder Substanzen erfolgt, so müssen in den Blastemzellen eines Regenerationskegels mindestens 2 solche Strukturen vorhanden sein, von denen die eine (die histogenetische Komponente) verhältnismäßig leicht umgestellt werden kann, während die andere (die morphogenetische Komponente) von Umweltveränderungen nur wenig oder gar nicht beeinflußt wird.

Zoologisches Institut der Universität Marburg/L.

Wolfgang Luther.

Eingegangen am 3. April 1948.

Besprechungen.

Vom neuen Geist der Universität. Dokumente, Reden und Vorträge 1945/46. Herausgegegeben von K. H. Bauer. Schriften der Universität Heidelberg, Heft 2. Berlin und Heidelberg, Springer Verlag 1947. 276 S. Preis 7,50 RM.

Der erste Teil des Bandes enthält ein kurzes, aber entscheidendes Kapitel aus der Geschichte der Ruperto-Carola, die Wiedereröffnung nach dem Zusammenbruch, dargelegt in ihren einzelnen Phasen an Hand von Schriftstücken, die zwischen dem Rektor und den Vertretern der Besatzungsmacht sowie amtlichen deutschen Stellen gewechselt wurden. Zeigen diese Dokumente die verwaltungsmäßigen Vorarbeiten zur Wiederaufnahme des Unterrichtsbetriebes mit allen ihren Schwierigkeiten, so findet die geistige Situation der Universität und der Wille zu einem neuen Anfang ihren Ausdruck in den aus verschiedenen Anlässen gehaltenen Ansprachen und Reden derjenigen, die bei diesem Neubeginn an entscheidender Stelle tätig waren. So in denen des Rektors K. H. Bauer über „Die Erneuerung der Universität", „Wissenschaft und Humanität", „Die Philosophie des Tätigen Lebens", „Die Grundvoraussetzungen der deutschen Wiedergeburt", und in der von Karl Jaspers anläßlich der Wiedereröffnung der medizinischen Kurse gehaltenen Ansprache „Die Erneuerung der Universität". Was den Herausgeber des Bandes veranlaßt hat, diese Reden und Dokumente einem größeren Kreis zugänglich zu machen, war, wie es im Vorwort heißt, der Wunsch, „den um das Schicksal der Universität treu besorgten Freunden der Hochschulen einiges von dem zu vermitteln, was uns in jenen Monaten des Überganges in eine neue Zeit bewegt hat und wie wir die kommende Entwicklung geistig mit vorzubereiten versuchten".

Der zweite Teil des Bandes besteht aus einer Sammlung von neun Vorträgen Heidelberger Professoren, bestimmt, den Studierenden mit hervorragenden Lehrern anderer Fakultäten bekanntzumachen und ihm Einblick zu vermitteln in deren Arbeitsgebiete, bestimmt aber auch dafür, „der Bevölkerung Heidelbergs Gelegenheit zu geben, am inneren geistigen Leben der Universität teilzunehmen". Ihre Reihe wird eröffnet durch einen bekanntgewordenen Vortrag von Karl Jaspers: „Vom lebendigen Geist der Universität". Weite Verbreitung möchte man den ausgezeichneten Ausführungen von F. Ernst „Vom Studieren" wünschen, die aus tiefer Anteilnahme an den Sorgen und Nöten der heutigen Studenten heraus Wege weisen, das Studium im rechten Geiste zu beginnen. Am Wesen und Wirken der von Gert Groote im ausgehenden 14. Jahrhundert begründeten Bewegung der „Brüder vom gemeinsamen Leben" zeigt E. Hofmann „Die Anfänge des christlichen Humanismus" auf. Ein eindrucksvolles Bild von der Entwicklung der physikalischen Experimentierkunst bis zu ihrem heutigen Stande entwirft W. Bothe in seinem Vortrag „Vom Wesen des Experimentes", der in der Klarheit der Formulierungen und seiner fesselnden Darstellung als Musterbeispiel einer allgemeinverständlichen Erörterung naturwissenschaftlicher Fragen gelten muß. Besondere Hervorhebung verdienen zwei Vorträge von W. Hellpach: „Die geistige Gesetzmäßigkeit in der Geschichte" und „Ideenwandel im Generationswechsel", sowie die Betrachtungen von V. v. Weizsäcker unter dem Titel „Die Medizin im Streit der Fakultäten". „Die Kunst der deutschen Stämme und Landschaften" in ihrer Gebundenheit an bestimmte Stammescharaktere macht A. Grisebach an Beispielen aus der Malerei, Plastik und Baukunst der Dürerzeit und des 18. Jahrhunderts sichtbar, unterstützt von 19 sehr schönen Reproduktionen und Aufnahmen. Die bunte Vielfalt des Gebotenen wird abgeschlossen durch einen Vortrag von K. Schneider: „Die Psychiatrie und die Fakultäten", der die mannigfachen Beziehungen dieses Faches zur Psychologie, Philosophie, Literaturwissenschaft, Rechtswissenschaft und Theologie darlegt. Ein zusammenfassender Bericht des Herausgebers über sein Rektoratsjahr 1945/46 beschließt den Band.

H. Brockmann.

Eingegangen am 22. März 1948.

W. Simon, **Zeitmarken der Erde.** Grund und Grenze geologischer Forschung. — Die Wissenschaft. Herausgeber Prof. Dr. Wilh. Westphal. Bd. 98. 232 S., 80 Abb. 10,— RM F. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

Nach E. F. Zeuner's „Dating the Past. An Introduction to Geochronology" (London 1946) beschert uns die Nachkriegszeit in diesem Beitrag W. Simon's gleich noch ein zweites Buch, das sich mit den allgemeinen (also nicht nur biostratigraphischen) Problemen der geologischen Zeitrechnung befaßt. Es ist sehr anziehend zu sehen, wie völlig verschieden ein ähnliches Thema von zwei verschiedenen Forschern behandelt werden kann. Zeuner stützt sich auf eine Unmenge beobachteter geologischer Profile, wobei die Diluvialchronologie bei weitem den Hauptrang einnimmt, und dabei wiederum Milankowitsch's Strahlungskurve im Vordergrund steht. Simon dagegen faßt das Thema grundsätzlicher und viel abstrakter. Er beginnt mit einer Betrachtung über die Stellung der Geologie im Rahmen der geschichtlichen Wissenschaften und über die erdgeschichtlichen Urkunden und ihre Deutung. Die überragende Wichtigkeit der Paläontologie für die Bestimmung der Hauptzeitmarken wird dabei hervorgehoben. Das folgende Kapitel „Nichtgeologische Urkunden als Zeitmarken" behandelt u. a. die Jahresringchronologie, Jahresschichtung, Strahlungkurve von Milankowitsch und radioaktive Mineralien. Die Kapitelüberschrift ist nicht recht verständlich: die jahresgeschichteten Bändertone sind ja mit die wichtigsten geologischen Zeitmarken; ebenso kann man doch die radioaktiven Mineralien nicht gut als „nichtgeologisch" bezeichnen. Nur die Vorgänge, die diesen Urkunden zugrunde liegen, sind nichtgeologischer Natur. Den Gesteinen als (nicht eindeutigen) Zeitmarken und der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Organismen nebst den vielen sich daran anknüpfenden stratigraphischen Fragen (u. a. Taxonomie, Mikrostratigraphie, Pollenanalyse, Lebensspuren) ist das 3. Kapitel gewidmet. Abschließend nimmt Simon ablehnend zu der Frage Stellung, ob die Erdgeschichte (wie das u. a. Bubnoff herausgestellt hat) eine natürliche Großgliederung aufweise.

Im Gegensatz zu Zeuner will Simon dem Fachgenossen nicht so sehr neue Tatsachen bringen; das Hauptgewicht liegt vielmehr auf der grundsätzlichen

Auseinandersetzung mit „Grund" (= Grundlage) und „Grenze" der Geologie als historischer Naturwissenschaft. Die Darstellung ist manchmal etwas zu abstrakt, und vor allem sind die Schemata, obgleich vielfach originell, nicht immer glücklich und zu sehr konstruiert. Daß bei den gewählten Beispielen Arbeiten der Frankfurter Schule, aus der der Verfasser stammt, im Vordergrund stehen, ist angesichts ihres hohen Niveaus kein Schaden, wenngleich manches andere grundlegende Werk vielleicht stärkere Berücksichtigung verdient hätte (so ist z. B. Pia's schönes Buch gar nicht herangezogen). Das Ganze ist aber eine durchaus eigene, gediegene Leistung des jungen Verfassers, der — noch immer Kriegsgefangener — die Herausgabe des 1944 vollendeten Buches nicht selbst überwachen konnte.

M. Schwarzbach.

Eingegangen am 5. Juni 1948.

Chester, K. Starr (Oklahoma Agricultural and Mechanical College), **The Nature and Prevention of Cereal Rusts as exemplified in the Leaf Rust of Wheat.** Waltham, Mass.: The Chronica Botanica Co. Groningen/Holland: N. V. de Erven P. Noordhoff. 1946, Preis $ 5,—.

Das erste und zugleich letzte Werk, das die Getreiderostfrage unter Berücksichtigung *aller* Getreideroste zusammenfassend behandelt, ist das bekannte Buch von Eriksson aus dem Jahre 1896. Durch mehr als 4 Jahrzehnte ist dann eine zusammenfassende Darstellung der Getreideroste nicht mehr erschienen. Erst 1937 brachte das Buch von Lehmann über den Schwarzrost. An die Seite dieser ersten, modernen zusammenfassenden Darstellung einer Getreiderostart tritt jetzt das vorliegende, ausgezeichnete Werk von Chester, das ebenfalls die wichtigsten Probleme der Getreiderostforschung behandelt, wobei der *Braunrost* des Weizens (Leaf Rust), *Puccinia triticina* Eriks. als Beispiel gewählt ist. Wir haben also bei Chester, genau wie bei Lehmann, die Beschränkung auf eine bestimmte Rostart, die aber dafür in besonders sorgfältiger und kritischer Weise behandelt wird.

Das Werk gliedert sich in 15 Hauptabschnitte. Die ersten behandeln Namen und Geschichte sowie Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung des Braunrostes. Es ist von Interesse, daß die Feststellungen des Verfassers zu dem Ergebnis führen, daß der Braunrost gefährlichere Auswirkungen hat als der Schwarzrost.

Die nächsten Abschnitte geben eine Darstellung über das Vorkommen des Braunrostes auf den einzelnen *Triticum*-Arten sowie über den Wirtswechsel mit *Thalictrum* und *Isopyrum*. Abschnitt VI behandelt die Aetiologie, insbesondere den Infektionsverlauf, die Cytologie, Sexualität, Chemie und Physiologie, den obligaten Parasitismus des Rostpilzes sowie Überwinterung und die Bedeutung der Zwischenwirte für die Erhaltung des Braunrostes.

Die beiden nächsten Hauptabschnitte dienen der Besprechung der Rassenbildung und physiologischen Spezialisierung. Hier ist ein besonders großes Literaturmaterial in vorbildlich übersichtlicher Darstellung zusammengefaßt und wiedergegeben. Es ist vor allem zu begrüßen, daß der Verfasser es nicht bei der bloßen Aneinanderreihung der bisher gefundenen physiologischen Rassen bewenden läßt, sondern daß er die Variabilität des Infektionstypus in ihrer Abhängigkeit von äußeren und inneren Faktoren ausführlich behandelt und in den Vordergrund stellt. Wohl das wichtigste Ergebnis der kritischen Untersuchungen des Verfassers zur Biotypenfrage besteht in seinem Vorschlag, verwandte physiologische Rassen zu Rassengruppen zusammenzufassen und für die praktischen und züchterischen Belange statt der 129 Rassen des internationalen Registers nur noch 44 Rassen*gruppen* zu berücksichtigen.

Abschnitte IX und X behandeln alle Faktoren, welche das Auftreten, die Entwicklung, Überwinterung und Übersommerung des Braunrostes beeinflussen. Umgebungseinflüsse, Feuchtigkeit, Temperatur, Licht, Boden- und Ernährungsverhältnisse und Kombinationen der verschiedenen Faktoren sind in ihren Wirkungen auf Grund des in der Literatur überall verstreuten Materials eingehend besprochen und zu den Grundfragen des Resistenz- bzw. Anfälligkeitsproblems in Beziehung gebracht.

Der nächste Abschnitt befaßt sich mit der Sporenverbreitung, mit dem Jahresverlauf des Rostauftretens und vor allem mit dem Jahreszyklus des Braunrostes in den verschiedenen Ländern und Erdteilen. Besonders ausführlich wird die Uredoüberwinterung auf Winterweizen als Infektionsquelle für den Befall des Sommerweizens besprochen und die Rostverbreitung über ganze Kontinente in Zusammenhang mit dem Rostauftreten in den wärmeren Ländern dargelegt. Unter den Verbreitungsfaktoren wird übrigens auch die Übertragungsmöglichkeit durch Flugzeuge in Betracht gezogen.

Abschnitt XII behandelt die natürlichen Rostbekämpfungsmöglichkeiten sowie die Pflanz- und Pflegemaßnahmen der Saat und der Felder. Zu den ersten wird auch das Auftreten anderer Pilze, insbesondere der rostparasitären Pilze, gerechnet. In Abschnitt XIII sind die Versuche einer Rostbekämpfung auf chemischem Wege zusammengestellt; im Vordergrund steht nach wie vor die Bestäubung mit Schwefel, deren Wirtschaftlichkeit jedoch umstritten bleibt.

Die beiden letzten Abschnitte behandeln die Rostbekämpfung durch Resistenzzüchtung. In Abschnitt XIV werden zunächst die Faktoren besprochen, auf welche wir Resistenz- und Anfälligkeitserscheinungen zurückführen können; besonders ausführlich wird hierbei auf die Untersuchungen des Referenten und seiner Mitarbeiter eingegangen.

An diese grundlegenden Ausführungen schließt sich dann als letztes Kapitel die eigentliche Resistenzzüchtung. An erster Stelle wird das Resistenzverhalten der verschiedenen *Triticum*-Arten und -Rassen dargelegt; daran schließen sich dann die Untersuchungen über die Vererbung der Resistenz, Korrelationen zwischen Resistenz und anderen Pflanzeneigenschaften und schließlich die praktischen Züchtungsergebnisse in den einzelnen Ländern und Erdteilen.

Es ist nicht leicht, im Rahmen eines Referates eine leidlich vollständige Übersicht über das Werk von Chester zu geben. Es handelt sich bei diesem Werk, und das ist sein besonderes Verdienst, nicht um eine mehr oder minder schematische Zusammenstellung aller in der Literatur verstreuten Angaben; das eigentliche Verdienst des Verfassers liegt in der sachlichen Durcharbeitung des ihm zur Verfügung stehenden Materials. Fast überall finden sich eigene Gedanken eingearbeitet. Es ist schon erwähnt, daß der Verfasser seine Zusammenstellung über die physiologischen Rassen des Braunrostes in dem Vorschlag gipfeln läßt, die Rassen in Rassengruppen einzuteilen, um nicht nur die Arbeit der Rassenbestimmung, sondern vor allem auch die Aufgaben der Resistenzzüchtung dadurch wesentlich zu erleichtern. In ähnlicher Weise geht der Verfasser auch in den anderen Kapiteln vielfach eigene Wege. Gerade hierdurch und in der damit in Zusammenhang stehenden sachlichen Eingruppierung und vielfach Neuordnung der Untersuchungsergebnisse anderer Autoren liegt ein ganz besonderes Verdienst des Verfassers.

So können wir das Buch von Chester in jeder Weise als Markstein und Fortschritt begrüßen. Als *Markstein*, weil der Verfasser eine Übersicht gibt über das, was auf dem Gebiet des Braunrostes bisher vorliegt, und als *Fortschritt*, weil er aus diesen zum Teil alten Literaturangaben sich erfolgreich bemüht, neue Wege zu gehen und neue Gedanken zu finden.

Das Buch von Chester ist vom Verfasser dem Referenten gewidmet. Der Referent dankt für die ihm damit erwiesene besondere Ehrung. Vor allem aber begrüßt er diese Widmung deshalb, weil sie 1946, also in einer Zeit erfolgte, in der die politischen Spannungen die Wiederaufnahme der wissenschaftlichen Beziehungen zwischen den Ländern noch stark erschwerten. So gibt diese Widmung einen erfreulichen und vielversprechenden Ausblick auf den völkerverbindenden Wert der Wissenschaft.

Gassner.

Eingegangen am 27. Mai 1948.

Seifert-Tetralux
der bekannte
Halbwellen-Diagnostik-Röntgenapparat
Wir empfehlen uns für die Instandsetzung von Röntgen- u. elektromed. Apparaten aller Fabrikate
Rich. Seifert & Co.
Röntgenwerk · Hamburg 13

Drehspulinstrumente
KURT HILLERKUS
Meß- und Regeltechnik
KREFELD · Brahmsstraße 86

HOLSTEINISCHE WERTARBEIT
Mikro-Präparate
Präzisions-Spiegel
Glasteilungen
Optische Instrumente
J. D. MÜLLER G.m.b.H., WEDEL i. HOLST.

Bedeutendes Unternehmen der chemischen Industrie sucht zum baldigen Eintritt einige jüngere promov.
CHEMIKER
mit organisch- oder physikal. chem. Ausbildung für Forschungsaufgaben.
Bewerbungen mit Lebenslauf, Zeugnisabschriften, Lichtbild, Referenzen sind zu richten unter N. W. 61/7244 an die Exp. dieses Blattes.

Elektrische Messung mechanischer Größen
von Dr.-Ing. Paul M. Pfiler
Dritte, erweiterte Auflage. Mit 308 Abbildungen
VI, 256 Seiten. 1948. 30.— Mark
SPRINGER-VERLAG · Berlin · Göttingen · Heidelberg

Rechenmethoden der Quantentheorie
dargestellt in Aufgaben und Lösungen
I. TEIL:
Elementare Quantenmechanik
Von **Dr. Siegfried Flügge**
o. Professor an der Universität Marburg
unter Mitarbeit von
Dr. Hans Marschall Marburg
(Die Grundlehren der mathemat. Wissenschaften in Einzeldarstellungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete Band 53)
Mit 18 Abbildungen
X, 240 Seiten. 1947. 18.— Mark

Vorlesungen über Integral- und Differentialrechnung
Von **Dr. phil. Georg Prange †**
Professor der Mathematik
an der Technischen Hochschule Hannover
Herausgegeben von
Dr. phil. Werner v. Koppenfels †
Professor der Mathematik
ERSTER BAND
Funktionen einer reellen Veränderlichen
Mit 140 Abbildungen
XV, 436 Seiten. 1943.
27.— Mark

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. 48 der Britischen Militärregierung. - Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50 - Für den Anzeigenteil verantwortlich: Hans-Georg Halfter, Stahnsdorf b. Berlin, Meisenweg 33. - Druck: A. Bagel, Düsseldorf. - Springer-Verlag, Berlin und Göttingen. - Printed in Germany.